В. М. КОВАН

проф. д-р техн наук,
заслуженный деятель науки и техники

ОСНОВЫ ТЕХНОЛОГИИ МАШИНОСТРОЕНИЯ

Допущено Министерством высшего образования СССР
в качестве учебника
для машиностроительных вузов и специальностей



ГОСУДАРСТВЕННОЕ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

Москва 1959

В книге изложены основные положения технологии машиностроения, общие для всех её отраслей, в том числе освещены вопросы технологии производства типовых деталей и узлов машин и дана методика расчетов, связанных с проектированием комплексных технологических процессов, включающих выбор методов изготовления заготовок последующей их обработки, узловой и общей сборки.

Рассмотрены вопросы технологичности машин их узлов и деталей, сформулированы основные требования, предъявляемые технологией производства к их конструктивному оформлению.

В книге отражен опыт отечественного и зарубежного машиностроения систематизированы и обобщены материалы, полученные в результате теоретических и экспериментальных исследований автора и других научных работников

Книга предназначается в качестве учебника для студентов машиностроительных вузов.

Рецензенты: Кафедра „Технология машиностроения" Московского вечернего машиностроительного института; проф. **А. С. Иванов**

Редактор канд. техн. наук доц. ***Косилова А. Г.***

Редакция литературы по металлообработке и станкостроению

Зав. редакцией Р. Д. БЕЙЗЕЛЬМАН

ПРЕДИСЛОВИЕ

Многообразие отраслей машиностроения вызывает необходимость издания многочисленных руководств по технологии производства изделий различных отраслей, например автомобилей и тракторов, сельскохозяйственных машин, металлорежущих станков, двигателей и т. д. Вместе с тем во всех этих руководствах 60—75% объема посвящается общим для всех отраслей вопросам технологии машиностроения и лишь 40—25% — вопросам отраслевой технологии. Естественно, что при составлении руководства по отраслевой технологии общие вопросы рассматриваются обычно лишь применительно к данной отрасли машиностроения, что ограничивает кругозор читателя, лишает его возможности критически рассматривать установившуюся в данной отрасли технологию производства и использовать опыт других отраслей машиностроения. Эти обстоятельства обусловливают целесообразность раздельного издания: а) основ технологии машиностроения, содержащих основные положения этой науки и вооружающих технолога знаниями, позволяющими ему решать возникающие перед ним задачи, руководствуясь не только своим производственным опытом, но и техническими расчетами, и б) сравнительно небольших по объему руководств, содержащих систематизированные материалы по специализированной технологии производства определенных отраслей машиностроения.

Быстрый рост машиностроения в Советском Союзе требует от технолога знаний, позволяющих ему ориентироваться в вопросах технологии производства любого нового объекта. Эти знания могут быть обеспечены только путем подготовки технологов-машиностроителей широкого профиля, глубоко изучивших основы технологии машиностроения и умеющих приложить их применительно к заданным производственным условиям.

Опыт перехода после Великой Отечественной войны предприятий оборонной промышленности на мирную продукцию с полной очевидностью подтверждает это положение.

Таким образом, в полной мере оправдывается издание учебника «Основы технологии машиностроения», содержащего основные положения этой науки и методику технологических расчетов, общих для различных отраслей машиностроения.

Учебник написан в соответствии с программой курса «Основы технологии машиностроения», читаемого в Московском высшем техническом училище им. Баумана. Во избежание дублирования

со смежными дисциплинами в учебнике не рассматриваются машиностроительные материалы, оборудование, инструменты и приспособления; изложение физической сущности методов обработки и других вопросов, освещаемых в предшествующих или смежных курсах, также не дается. Эти вопросы затрагиваются в книге лишь в той степени, какая необходима для обоснования предлагаемого построения технологических процессов, расчетов точности, производительности и т. п.

Первые шесть глав учебника посвящены теоретическим основам технологии машиностроения и проектированию технологических процессов. В седьмой главе приведена технология производства типовых деталей и узлов машин, общих для различных отраслей машиностроения; назначение главы — выявить принципиальные решения и дать надлежащее направление мысли технолога при проектировании технологических процессов; эту главу не следует рассматривать как справочный материал, она имеет чисто методологическое значение и ограничена поэтому сравнительно небольшой номенклатурой деталей и узлов машин.

В восьмой главе «Перспективы развития технологии машиностроения» рассматриваются две группы вопросов. В первой из них, изложенной в параграфе «Пути повышения производительности труда», не ставится, разумеется, неосуществимая задача дать всеобъемлющую готовую рецептуру, а преследуется цель вскрыть лишь основные принципиальные пути решения этой проблемы. Остальной материал этой главы дает важнейшие принципиальные направления дальнейшего развития технологических методов и технологических процессов в свете новейших достижений машиностроительного производства.

Автор стремился отразить в книге опыт отечественного и зарубежного машиностроения, систематизировать и обобщить результаты опубликованных научных работ, а также своих теоретических и экспериментальных исследований.

Этот труд является завершением всех предшествующих работ автора в рассматриваемой области; автор надеется, что изложенный в книге материал будет способствовать в той или иной степени дальнейшему развитию формирующейся науки — технологии машиностроения.

ВВЕДЕНИЕ

Народнохозяйственное значение развития технологии машиностроения. Взаимосвязь конструирования и технологии производства машин.

Задачи, направление и содержание курса технологии машиностроения. Предмет технологии машиностроения. Значение этой науки в подготовке специалистов для машиностроительной промышленности.

Машиностроительная промышленность снабжает своей продукцией все отрасли народного хозяйства, поэтому машиностроение является одним из основных его звеньев.

Технический прогресс и дальнейший рост всех отраслей народного хозяйства в значительной степени зависит от развития машиностроительного производства, от роста технологической культуры машиностроения.

В самом деле, массовый выпуск машин, повышающий технический уровень народного хозяйства, стал возможен только в связи с развитием высокопроизводительных методов производства, а возможность дальнейшего повышения быстроходности машин была достигнута лишь в результате разработки новых технологических методов, обеспечивающих высокое качество поверхностей трения.

В общем смысле можно сказать, что технический прогресс характеризуется неразрывной связью конструирования более совершенных машин с более совершенной технологией их производства.

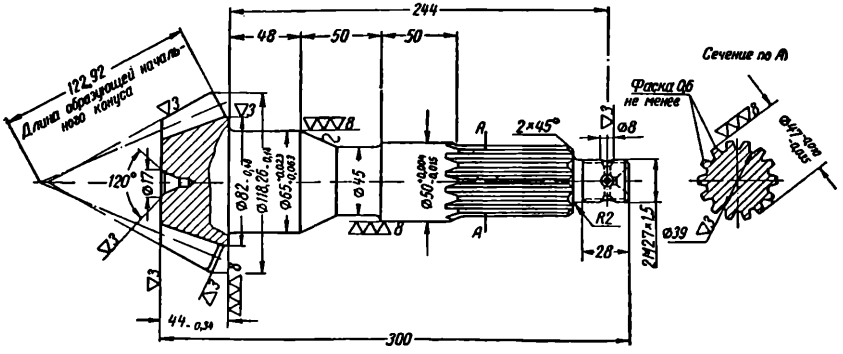
В зависимости от назначения и условий эксплуатации машин, их конструктивных особенностей и предъявляемых к ним технических требований применяют различные технологические методы производства; они будут различны даже для одной и той же машины и ее элементов в зависимости от заданной производственной программы, т. е. от количественного фактора.

Например, заготовка для хвостового конического зубчатого колеса, показанного на фиг. 1, может быть получена свободной ковкой или горячей штамповкой.

Обработка торцов валика под зацентровку может быть осуществлена подрезкой на токарном станке, фрезерованием на горизонтально-фрезерном станке, фрезерованием на барабанно-фрезерном станке. Зацентровка валика может быть выполнена на одностороннем либо на двустороннем центровальном станке; наконец, фрезерование торцов и зацентровка валика может быть произведена за один установ на фрезерно-центровальном станке.

Для обтачивания шеек валика могут быть выбраны: обычный токарный станок, многорезцовые токарные полуавтоматы для последовательной обработки обоих концов заготовки, многорезцовый токарный полуавтомат для обработки части заготовки с диском (под зубчатое колесо) и гидрокопировальный токарный полуавтомат для обработки хвостовой ее части; наконец, обработка этой заготовки может быть выполнена на вертикальном многошпиндельном токарном полуавтомате.

Шлифование посадочных шеек валика 50 и 65 *мм* может быть осуществлено на круглошлифовальном станке методом продольной



Фиг. 1. Хвостовое коническое зубчатое колесо.

Материал — сталь; твердость $H_{R_C} = 56 \div 62$

подачи либо методом поперечной подачи; оно может быть выполнено также на бесцентрово-шлифовальном станке параллельным шлифованием шеек набором из двух шлифовальных кругов методом врезания.

Указанные варианты далеко не исчерпывают всех возможных и в ряде случаев целесообразных технологических решений при выполнении заготовки и при последующей ее обработке.

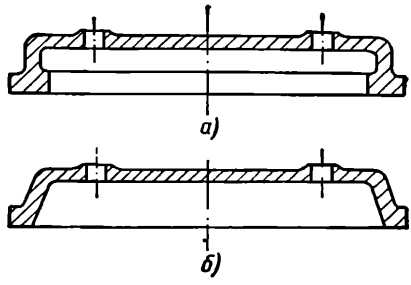
Из приведенного примера видим, что даже в случае сравнительно несложной детали перед технологом-машиностроителем возникает ряд задач, которые он должен решать при построении технологических процессов производства деталей машин. К таким задачам, в частности, относятся: выбор метода выполнения заготовки, выбор варианта механической обработки, оборудования и оснастки, определение размеров обрабатываемой заготовки и режимов обработки на всех стадиях производства от черной заготовки до готовой детали.

Сборка машин может осуществляться также различными способами: путем индивидуальной пригонки сопрягаемых деталей, путем их подбора, путем соединения без пригонки и подбора по принципу полной взаимозаменяемости и другими методами.

Таким образом, построение процесса сборки также связано с решением ряда технологических задач и может быть выполнено в ряде вариантов технологического процесса, каждый из которых требует определенного оборудования и оснащения, причем каждому варианту свойственна определенная трудоемкость.

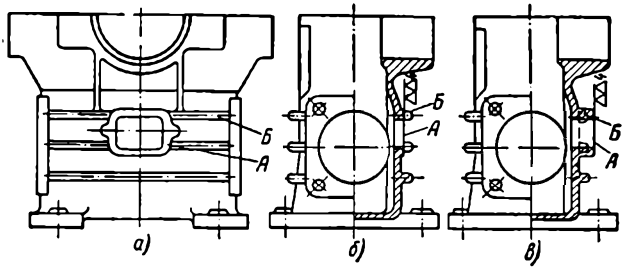
Как решать эти задачи в зависимости от конструкции выпускаемого изделия, предъявляемых к нему технических требований и заданной производственной программы, — учит технология машиностроения.

При конструировании машин и их деталей необходимо учитывать технологические условия производства. Поясним это примерами.



Фиг. 2. Крышка картера двигателя

На фиг. 2 показаны два варианта конструкции крышки картера двигателя: при варианте *а* необходимость применения стержня при изготовлении формы для отливки усложняет процесс формовки;



Фиг. 3. Два варианта конструкции корпуса редуктора.

вариант *б* исключает необходимость применения стержня, что в значительной степени упрощает формовку.

На фиг. 3 показаны старая (*а* и *б*) и измененная (*в*) конструкции корпуса редуктора; в старой конструкции плоскость платика *А* расположена ниже охлаждающих ребер *Б*, в измененной конструкции плоскость платика *А* поднята выше ребер *Б*.

На фиг. 4 показана обработка обоих конструктивных вариантов этой детали; в старой конструкции плоскость платика *А* приходится обрабатывать пальцевой торцовой фрезой, направляя ее по периметру платика (фиг. 4, *а*). Изменение конструкции корпуса позволяет вести обработку торцовой фрезой, диаметр которой перекрывает всю ширину платика (фиг. 4, *б*), т. е. сквозным проходом и вдвое сократить время, затрачиваемое на обработку.

На фиг. 5 показаны две конструкции привода шпинделя вертикально-фрезерного станка; конструкция *а* обусловливает сложную сборку; конструкция *б* обеспечивает более простую сборку, причем узел привода может быть собран и испытан отдельно и независимо от других элементов станка.

На фиг. 6 показаны две конструкции одного и того же соединения; затяжку гайки в конструкции *а* можно осуществить только ручным гаечным ключом, а в конструкции *б* — электрогайковертом, что механизирует процесс сборки и значительно повышает производительность труда.

Пользуясь приведенными примерами, приходим к выводу, что конструкция элементов машин существенно влияет на технологию их производства.

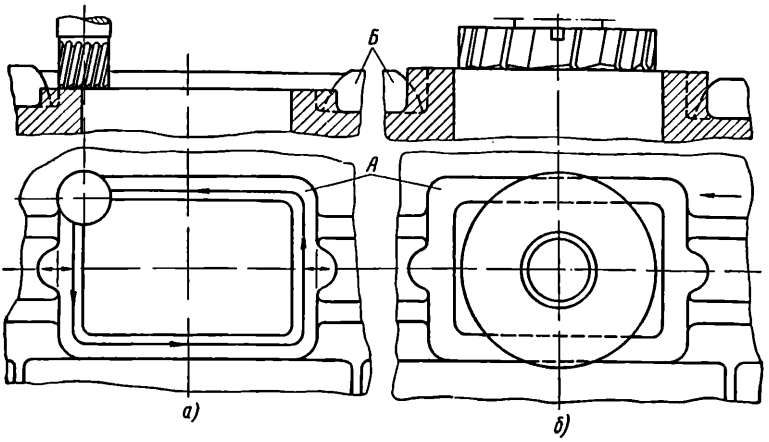
Изучение технологии машиностроения вооружает знаниями, необходимыми для критической оценки конструкции с технологической точки зрения; эти знания помогают конструктору создавать изделия, не вызывающие затруднений в процессе их производства.

Рассмотренные примеры в некоторой степени характеризуют широкий круг технологических вопросов, возникающих при конструировании машин и построении процессов их производства.

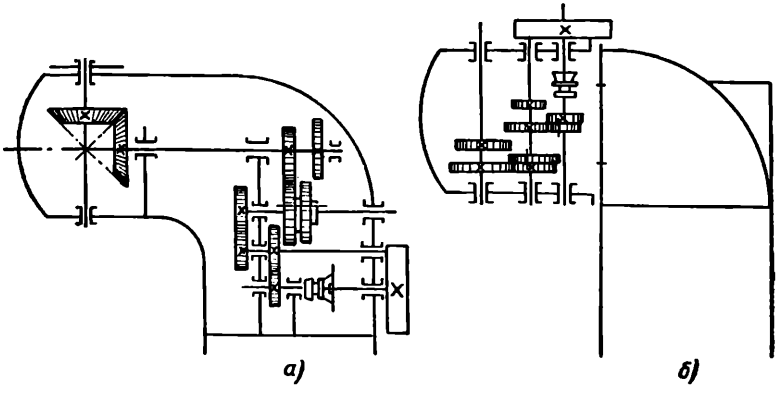
На современном уровне развития технологической науки сосредоточить всю совокупность одинаково глубоких знаний во всех областях технологии производства машин в рамках одной специальности весьма затруднительно; поэтому в машиностроении имеют самостоятельное значение такие специальности, как технология литейного производства, технология кузнечно-штамповочного производства, технология термической обработки, технология сварки и т. п.

Совокупность технологических знаний, относящихся к конечным этапам производства машин, а именно к механической обработке заготовок и сборке машин, излагается в технологии машиностроения. Такое наименование этого курса обусловлено тем, что именно сборкой машин заканчивается процесс их производства; вместе с тем узловая сборка настолько тесно связана в современном машиностроении с процессами обработки заготовок для деталей машин, что их раздельное рассмотрение нельзя признать целесообразным. Например, после обработки поверхностей разъема корпуса и крышки редуктора производится дальнейшая обработка корпуса в собранном виде; после предварительной обработки шатуна и его крышки производится их сборка и дальнейшая совместная обработка; ограничиваясь этими примерами, укажем, что сборка с последующей механической обработкой, так называемая промежуточная узловая сборка, широко практикуется в машиностроении.

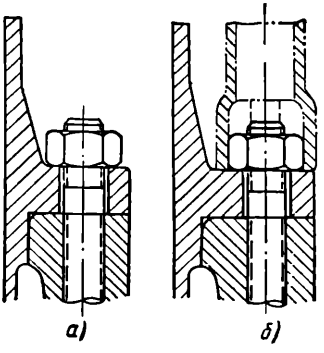
Современные направления в создании непрерывных производств с полной автоматизацией участков, цехов и заводов ставят задачи включения в потоки механической обработки и сборки разнородных технологических операций (литья, термообработки, нанесения защитных покрытий, балансировки и т. п.). Это, в свою очередь, указывает



Фиг. 4. Два способа обработки корпуса редуктора, обусловленные его конструкцией.



Фиг. 5. Два варианта конструкции привода шпинделя вертикально-фрезерного станка.



Фиг. 6. Две конструкции узла с болтовым соединением.

на комплексность предмета технологии машиностроения и тесную связь различных технологических областей.

Решая задачи, возникающие при механической обработке заготовок для деталей машин, необходимо учитывать свойства материалов, конфигурацию и размеры заготовки, качество ее поверхностей, а также влияние термической обработки, если она предусмотрена, на последующую механическую обработку. Эти вопросы должны получить соответствующее отражение в курсе технологии машиностроения.

Нельзя также решать технологические задачи, возникающие в связи с производством машин, изолируясь от вопросов организации и экономики производства; эти вопросы должны быть отражены в технологии машиностроения в степени, необходимой для всестороннего освещения технологических задач.

Общая компоновка машины и конструктивное оформление ее деталей оказывают столь существенное влияние на технологию производства, что вопросы увязки конструкции с технологией должны получить достаточно развитое отражение в курсе технологии машиностроения.

Технический прогресс в условиях социалистического хозяйства обязывает к изложению в этом курсе не только современного состояния, но также и перспектив дальнейшего развития технологии машиностроения.

Основной задачей этой научной дисциплины в социалистическом обществе является развитие знаний, обеспечивающих непрерывное совершенствование технологических методов производства и повышение производительности труда в машиностроении.

В условиях социалистического производства направление технологии машиностроения определяется задачей получения нужных обществу машин высокого качества, изготовляемых при наименьшей себестоимости, при минимальных затратах материалов и при высокой производительности труда, облегченного в максимально возможной степени и безопасного.

Разработка таких технологических процессов связана с целесообразным выбором, а иногда и созданием нового, более совершенного технологического оборудования, средств механизации и автоматизации производства, с приведением технико-экономических обоснований и выполнением проектно-технических работ.

Технология машиностроения включает следующие дисциплины: 1) основы технологии машиностроения; 2) основы конструирования приспособлений, применяемых в машиностроении; 3) технология производства машин; 4) основы проектирования машиностроительных цехов и заводов.

Курс «Основы технологии машиностроения» является базовым для остальных дисциплин указанной совокупности.

В нем излагаются теория построения и методы расчета технологических процессов машиностроительного производства. Этот курс

сопровождается лабораторными работами, экспериментально подтверждающими основные положения технологии машиностроения. В курсе излагаются также технологические требования, предъявляемые к конструктивному оформлению машин и их элементов.

В курсе «Основы конструирования приспособлений» излагаются принципиальные направления в проектировании высоко-эффективных, расширяющих возможности оборудования и облегчающих труд рабочего приспособлений, и изучаются методы расчетов, связанных с их конструированием.

В курсе «Технология производства машин» рассматривается фактический и перспективный материал ведущих машиностроительных заводов и дается критический анализ этого материала на базе положений, изложенных в основах технологии машиностроения. Этот курс расширяет кругозор студентов в области технологии, развивает у них навыки критической оценки действующих технологических процессов, а также прививает навыки творческого решения технологических задач.

Курс «Основы проектирования машиностроительных цехов и заводов» является логическим продолжением основ технологии машиностроения и заключительным курсом в указанной совокупности технологических дисциплин. В этом курсе решаются задачи пространственного осуществления технологических разработок в производственных зданиях.

Прослушав этот курс, студенты проходят производственную преддипломную практику на машиностроительных заводах или в проектных организациях, соответствующих по своему профилю теме дипломного проекта.

Таковы в общих чертах объем и содержание курсов, входящих в технологию машиностроения.

Технология машиностроения широко пользуется как теоретическими, так и прикладными науками, синтезируя содержащийся в них материал применительно к решению технологических задач. Наряду с этим синтезом создаются и развиваются путем систематизации и обобщения производственного опыта, а также в результате специальных технологических исследований основные теоретические положения технологии машиностроения, подводящие научную базу под разработку технологических процессов и дающие возможность обоснованного выбора технологических методов для конкретных условий.

Взаимосвязь технологических методов выполнения заготовок и последующей их механической обработки создает широкие возможности для различных технологических решений и их сочетаний и требует комплексного решения вопросов построения технологии производства машин и их элементов. Например, возможная в ряде случаев замена сложной по конфигурации цельной детали сварной конструкцией, так же как и замена сборной конструкции единой

деталью, коренным образом изменяет технологию выполнения заготовки и обработки данного элемента машины.

Целесообразное комплексное решение технологических задач возможно лишь на базе глубокого изучения методов обработки машиностроительных материалов. Поэтому технология металлов как прикладная наука о технологических методах обработки металлов имеет особое значение для технологии машиностроения.

В связи с развитием производства разнообразных пластмасс расширяется область использования пластмасс для изготовления заготовок и деталей машин; это дополнительно повышает роль технологии материалов в изучении технологии машиностроения.

В отличие от технологии металлов технология машиностроения предусматривает не изучение сущности процессов обработки материалов, а сравнительную характеристику различных технологических методов обработки заготовок деталей машин в целях выбора и целесообразного применения тех или других технологических методов в зависимости от конкретных условий производства. Вместе с тем в технологии машиностроения излагается методика построения и расчета технологических процессов, что не является предметом изучения технологии металлов.

Характеризуя технологию машиностроения как науку, укажем, что *предметом технологии машиностроения является учение об изготовлении машин заданного качества и в установленном производственной программой количестве при наименьших затратах живого и овеществленного труда, т. е. при наименьшей себестоимости.*

Одной из основных научных проблем технологии машиностроения является «изучение физических; химических и т. п. закономерностей хода технологических процессов и выявление тех параметров, воздействие на которые наиболее эффективно для интенсификации производства и повышения его точности. В исследованиях такого рода необходимо полностью перейти от приближенного описания происходящих явлений к математически строгим аналитическим выражениям и к понятиям и методам современной науки.» [1]

Как прикладная наука, технология машиностроения имеет большое значение в подготовке специалистов для машиностроительной промышленности, вооружая их знаниями, необходимыми не только для повседневной работы, но также и для творческой деятельности в области построения новой прогрессивной технологии и создания конструкций, позволяющих применить при их производстве высокопроизводительные технологические методы.

---

[1] Из решения Всесоюзной научно-производственной конференции «За передовую технологию машиностроения и приборостроения», состоявшейся в Москве в январе 1958 г.

ГЛАВА I

ПОНЯТИЯ ОБ ИЗДЕЛИИ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМ ПРОЦЕССЕ В МАШИНОСТРОЕНИИ

§ 1. ИЗДЕЛИЕ И ЕГО ЭЛЕМЕНТЫ

Изделие как продукт конечной стадии производства. Элементы изделия. Детали и узлы. Разделение узлов на группы и подгруппы. Схема расчленения изделия на элементы. Понятия об узловой и общей сборке. Технологические схемы сборки, их содержание и назначение.

Приступая к изучению основ технологии машиностроения, необходимо прежде всего установить понятие об изделии.

И з д е л и е м условимся называть продукт конечной стадии машиностроительного производства.

Изделием может быть не только законченная сборкой машина, но и узел и даже деталь, в зависимости от того, что является объектом данного производства. Например, для автомобильного завода изделием является автомобиль, для карбюраторного завода — карбюратор, для автоматического завода производства поршней — поршень.

Д е т а л ь ю назовем первичный элемент изделия, характеризующим признаком которого является отсутствие в нем каких-либо соединений, как разъемных, так и неразъемных.

У з л о м назовем элемент изделия, представляющий собой соединение двух или нескольких деталей, независимо от рода соединений (разъемных, неразъемных); характеризующим признаком узла с технологической точки зрения является возможность его сборки обособленно от других элементов изделия.

Механизм изделия, определяемый функциональным его назначением, не является узлом с точки зрения процесса производства, если он не может быть собран обособленно от других элементов изделия, например, распределительный механизм двигателя не будет узлом, если его нельзя собрать отдельно от других элементов двигателя.

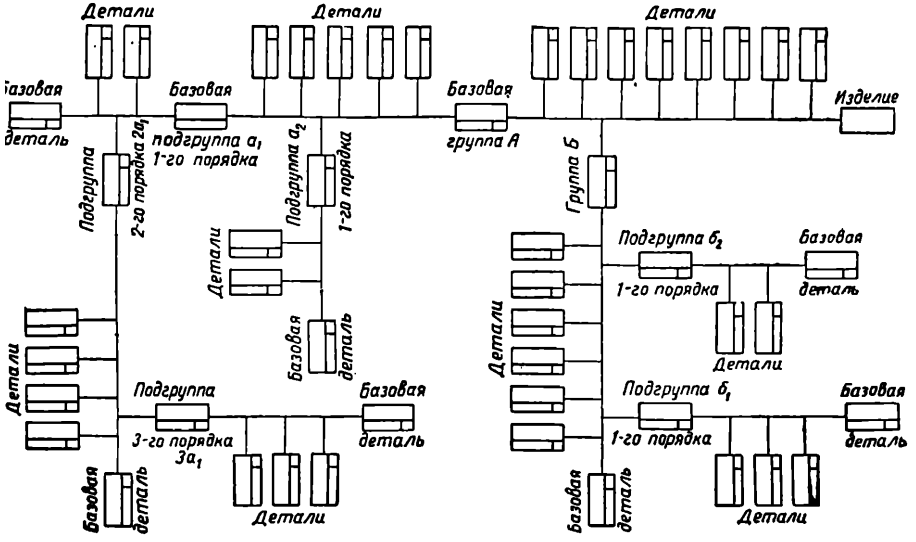
Нанесение на поверхность детали металлического или неметаллического покрытия не превращает ее в узел, так как процесс покрытия заключается в нанесении материала на деталь, а не в сборке отдельно изготовленных деталей.

При построении процессов сборки целесообразно разделять узлы изделий на группы и подгруппы.

Группой назовем узел, входящий непосредственно в изделие.

Подгруппой назовем узел, входящий в изделие в составе группы.

Такой входящий непосредственно в группу узел назовем подгруппой первого порядка. В других случаях узел входит в группу в составе подгруппы, причем в зависимости от взаимосвязи с груп-



Фиг. 7. Схема расчленения изделия на элементы.

пой различают подгруппы разных порядков. Узел, входящий непосредственно в подгруппу первого порядка, назовем подгруппой второго порядка и т. д.

Любой узел в зависимости от его конструкции может состоять либо из отдельных деталей, либо из узлов низших порядков и деталей.

Построение процессов сборки машин значительно упрощается при целесообразном расчленении их на элементы.

На фиг 7 приведена [1—3] простая и удобная схема расчленения изделия на элементы, на которой видны не только составляющие его узлы и детали, но и последовательность комплектования при сборке.

При расчленении изделия на элементы каждый элемент машины обозначается прямоугольником, разделенным на три части; в верхней части прямоугольника указывается наименование элемента, в левой нижней части — его индекс, а в правой нижней части — количество элементов, входящих в данное соединение.

Индексация элементов машины производится в соответствии с номерами и индексами, присвоенными деталям и узлам на чертежах и в спецификациях. При индексации узлов перед индексом ставят буквы «Сб» (сборка).

Основной элемент (деталь или узел), с которого начинается сборка называется б а з о в ы м.

Процесс комплектования машины и каждого из ее узлов показывается в виде прямой линии, к которой в соответствующих местах примыкают прямоугольники, обозначающие элементы.

Начинается каждая линия базовым элементом, а заканчивается собранной машиной или узлом. С левой стороны линии, в направлении от базового элемента к собранному узлу или изделию, наносятся в порядке последовательности сборки все детали, непосредственно входящие в машину или узел, за исключением базовой; с правой ее стороны — все узлы, кроме базового, непосредственно входящие в машину или узел высшего порядка.

В современном машиностроении сборка расчленяется на общую и узловую.

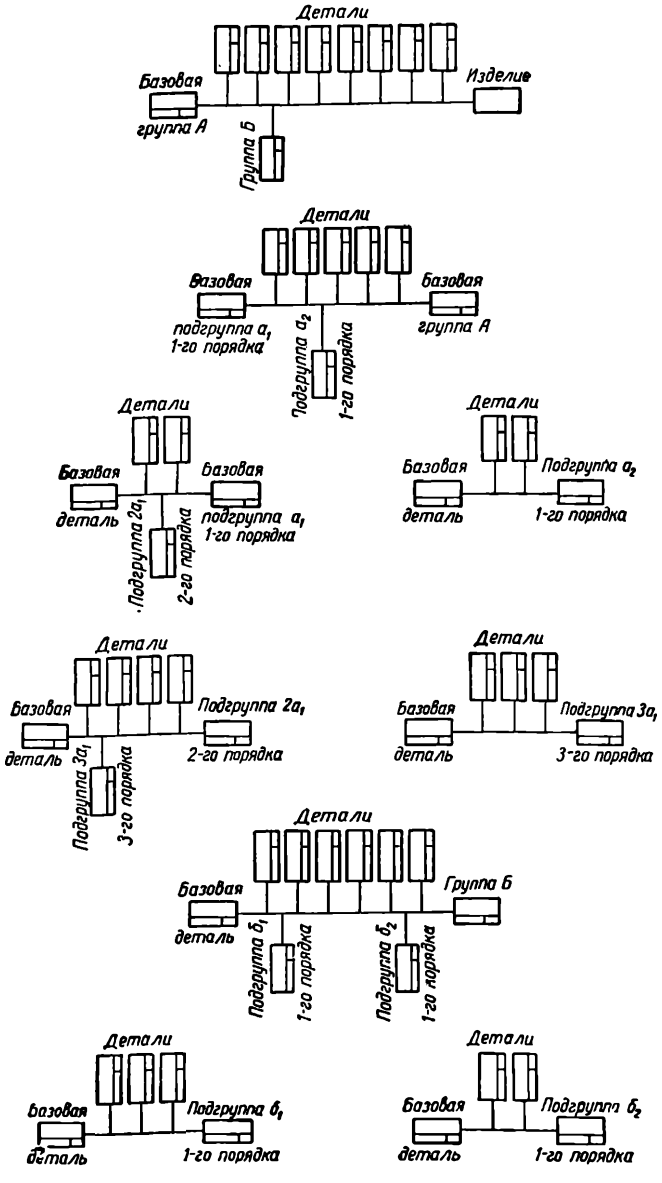
Под общей понимают сборку законченных машин; иногда это понятие распространяют условно на сборку сложных групп; под узловой обычно понимают сборку подгрупп и несложных групп.

Пользуясь методом построения схемы расчленения изделия на элементы, можно построить технологические схемы сборки. При этом целесообразно строить отдельные технологические схемы для общей сборки машины и для каждого из ее узлов: схемы узловой сборки содержат лишь детали и узлы, непосредственно входящие в данный узел. Нисходящим построением таких схем получаем в конечном итоге узлы, состоящие только из деталей. На фиг. 8 показано построение технологических схем общей и узловой сборки изделия, расчленение которого на элементы дано на фиг 7.

Технологические схемы сборки снабжаются дополнительными надписями, определяющими содержание сборочных операций, когда оно не диктуется самой схемой. В качестве примера на фиг 9 дан сборочный чертеж станины токарного станка, а на фиг. 10 показана технологическая схема ее сборки.

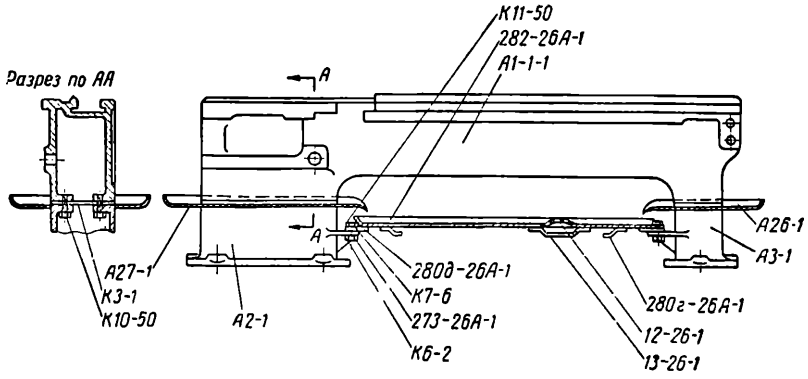
Технологические схемы сборки показывают порядок комплектования изделий и узлов; они значительно упрощают проектирование процессов сборки, вносят определенную стройность в их выполнение и, кроме того, служат также для оценки конструкции изделия с технологической точки зрения.

Одним из конструктивных преимуществ любого сложного изделия является возможность его сборки из предварительно собранных узлов, так как в этом случае общей сборке благоприятствуют два весьма существенных обстоятельства. Во-первых, собранный узел устанавливается на собираемое изделие после технического контроля качества его сборки, а если требуется, то и после предварительного испытания узла; это значительно повышает качество общей



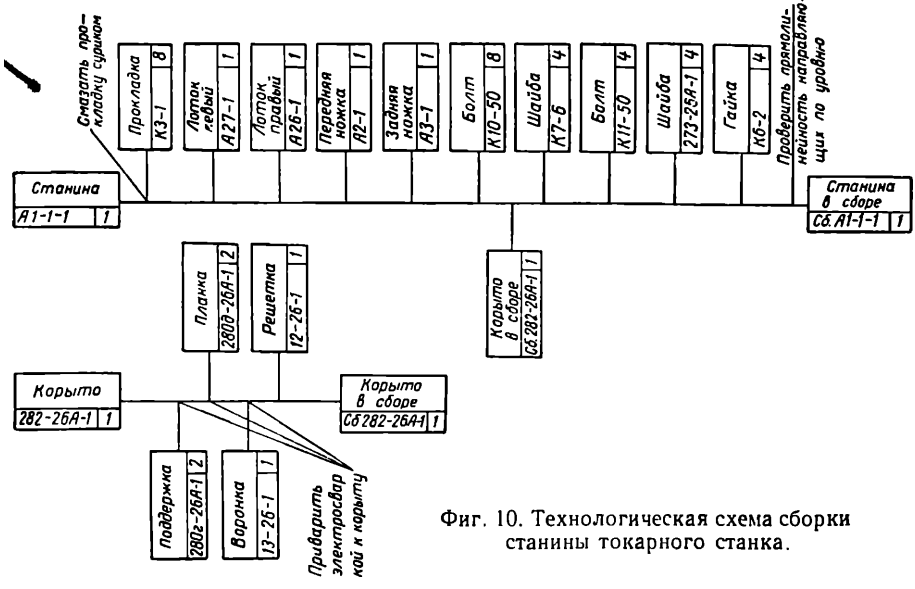
Фиг 8. Технологические схемы общей и узловой сборки изделия.

сборки и позволяет быстрее обнаруживать причины ее дефектов, которые в этом случае следует искать в соединениях узлов, а не внутри самих узлов. Во-вторых, конструкция изделия, сборку которого



Фиг. 9. Станина токарного станка.

можно производить из предварительно собранных узлов, позволяет выполнять сборочные работы широким фронтом, путем параллельной



Фиг. 10. Технологическая схема сборки станины токарного станка.

сборки узлов и изделия, что значительно сокращает длительность цикла сборки. Технологические схемы сборки наглядно демонстрируют степень соблюдения этих условий; вместе с тем при построении технологических схем сборки в соответствии со сборочным чертежом

БИБЛИОТЕКА

обнаруживаются возможные конструктивные неувязки, усложняющие процесс сборки.

Предварительно собранный узел, требующий частичной или полной разборки при его окончательной установке, назовем комплектом, в отличие от узлов (групп и подгрупп), устанавливаемых в собранном виде; например, поршень с шатуном в сборе будет комплектом, так как этот узел предварительно собирают и проверяют на контрольном приспособлении, а при сборке двигателя крышку шатуна снимают для соединения его с мотылевой шейкой коленчатого вала.

Технологическая схема сборки комплекта составляется так же, как и для любого узла (группы или подгруппы), а на схеме сборки, в которую входит комплект, делают соответствующую пояснительную надпись. В рассматриваемом случае у комплекта (состоящего из поршня с шатуном в сборе) должно быть записано: «отвернуть гайки стяжных болтов, снять крышку шатуна, соединить шатун с шейкой коленчатого вала, проверить прокладки, посадить на болты крышку шатуна, навернуть и затянуть гайки стяжных болтов».

В технике существует также понятие об агрегате, под которым понимают соединение нескольких разнотипных машин, устройств или аппаратов в одно целое для эффективной совместной работы: например, турбогенератор — объединенная установка паровой турбины и электрического генератора и т. п.

Термин «агрегат» применяется также для обозначения отдельных вспомогательных элементов машины, таких, например, как карбюратор, который можно рассматривать как агрегат двигателя внутреннего сгорания, а также нормализованных укрупненных узлов; примером могут служить агрегатные станки — специальные станки, конструируемые из набора различных нормализованных укрупненных узлов — агрегатов.

§ 2. ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕССЫ В МАШИНОСТРОЕНИИ

Понятие о производственном процессе и его элементах. Технологический процесс и его элементы — технологическая операция, установ и позиция; технологический переход, понятие о проходе; расчленение перехода на приемы.

Понятия о массовом, серийном и единичном производствах, поточном методе работы и темпе работы поточной линии.

Производственный процесс в условиях социалистического хозяйства представляет собой совокупность действий, в результате которых материалы и полуфабрикаты превращаются в готовую продукцию, соответствующую своему назначению и обеспечивающую максимальное удовлетворение постоянно растущих материальных и культурных потребностей всего общества.

По основному экономическому закону социализма средством для максимального удовлетворения постоянно растущих потребностей

общества является непрерывный рост и совершенствование социалистического производства на базе высшей техники.

Производственный процесс в машиностроении охватывает подготовку средств производства и организацию обслуживания рабочих мест; получение и хранение материалов и полуфабрикатов; все стадии изготовления деталей машин; сборку узлов и изделий; транспортировку материалов, заготовок, деталей и узлов в процессе производства и готовых изделий в экспедицию или на склад готовой продукции; технический контроль на всех стадиях производства, включая испытание узлов и готовых изделий; разборку собранных узлов и изделий, когда необходимость этого диктуется их весом и габаритами; упаковку готовой продукции и другие действия, связанные с изготовлением выпускаемых изделий.

Технологическим процессом называют часть производственного процесса, непосредственно связанную с последовательным изменением состояния предмета производства.

Так, технологический процесс механической обработки представляет собой часть производственного процесса, непосредственно связанную с последовательным изменением состояния заготовки, т. е. геометрических форм, размеров и качества ее поверхностей, до получения готовой детали соответствующей предъявляемым к ней требованиям. Для обработки заготовки ее необходимо установить соответствующим образом на станке и закрепить. После обработки заготовку надо открепить и снять со станка. Эти действия (установка и снятие заготовки, пуск и остановка станка и т. п.) не вызывают непосредственного изменения геометрических форм, размеров и качества поверхностей заготовки; однако они настолько неразрывно связаны с выполнением обработки, что не могут быть отделены от технологического процесса.

Аналогично технологический процесс сборки представляет собой часть производственного процесса, непосредственно связанную с последовательным соединением элементов изделий в узлы (узловая сборка), групп и отдельных деталей в изделие (общая сборка).

Для того чтобы соединить элементы изделия, также необходимо произвести ряд вспомогательных действий, неразрывно связанных с процессом соединения элементов и относящихся к технологическому процессу сборки (например, установить базовую деталь в сборочное приспособление, взять гайковерт и навести его на гайку и т. п.).

В процессе термической обработки, например, происходят структурные превращения, изменяющие свойства материала детали.

Технологический процесс выполняется на рабочих местах. Рабочим местом называется участок производственной площади, оборудованный в соответствии с выполняемой на нем работой.

Технологический процесс расчленяется на операции.

Технологической операцией называется часть технологического процесса, выполняемая на одном рабочем месте

и охватывающая все действия оборудования и рабочих над одним или несколькими совместно обрабатываемыми или собираемыми предметами.

Например, при станочной обработке операция включает все действия рабочего, управляющего станком, а также автоматические движения узлов станка, осуществляемые в процессе обработки поверхностей заготовки до момента снятия ее со станка и перехода к обработке другой заготовки. При этом вместо одной заготовки могут быть установлены для одновременной обработки несколько заготовок (станкопартия или установочная партия).

Операция может быть выполнена за один или несколько установов.

Установом называется часть операции, выполняемая при неизменном закреплении обрабатываемой заготовки или собираемого узла.

Например, одновременная центровка обоих торцов валика на двустороннем центровальном станке является одной операцией, выполняемой за один установ. Последовательная центровка торцов того же валика на одностороннем центровальном станке является также одной операцией, но выполняемой уже за два установа, так как после центровки одного торца валика он устанавливается другим торцом к шпинделю станка и заново закрепляется.

Обрабатываемая заготовка или собираемый узел, находясь в приспособлении, могут менять свое положение относительно рабочих элементов оборудования путем поворотных устройств; в этом случае они будут занимать различные позиции.

Позицией называется каждое из различных положений неизменно закрепленного предмета относительно оборудования, на котором производится работа.

Например, заготовка, обрабатываемая на многошпиндельном токарном автомате, при каждом повороте шпиндельного барабана занимает новую позицию.

Операция может быть выполнена за один или несколько переходов.

Переходом называется часть операции, включающая обработку одной поверхности одним или несколькими одновременно действующими инструментами при неизменном режиме работы станка.

При изменении обрабатываемой поверхности или инструмента при обработке той же поверхности или изменении режима работы станка при обработке той же поверхности и тем же инструментом возникает новый переход.

Применительно к сборке переход характеризуется неизменностью сопрягаемых поверхностей и применяемого при этом инструмента.

При обработке резанием переход может быть выполнен за один или несколько проходов. При каждом проходе, т. е. перемещении рабочего инструмента по обрабатываемой поверхности в направлении подачи, удаляется новый слой материала. При этом все

проходы выполняются без изменения режима работы станка (числа оборотов шпинделя и подачи).

Переход расчленяется на приемы. Прием представляет собой законченную совокупность отдельных движений в процессе выполнения работы или в процессе подготовки к ней.

Например, выполняемая за один переход сборочная операция «Напрессовать на вал червяк», состоит из следующих приемов: взять вал и установить его в пневматический зажим пресса; закрепить вал в пневматическом зажиме пресса; взять червяк и установить его на вал; включить приводной пресс педалью; напрессовать на вал червяк; выключить приводной пресс; открепить вал; взять собранный узел из пневматического зажима пресса и положить его на стеллаж.

Станочная операция, совмещающая два выполняемых параллельно перехода «Сверлить с двух сторон центровые гнезда валика», состоит из следующих приемов: взять валик и установить его по упору в зажимные призмы станка; закрепить валик в зажимных призмах станка; включить станок; подвести центровые сверла к торцам валика, засверлить центровые гнезда и отвести шпиндели станка в исходное положение; остановить станок; открепить валик; взять засверленный валик из зажимных призм станка и положить его на стеллаж.

Условия осуществления производственного процесса зависят от заданной производственной программы и трудоемкости изделия, определяющих тип производства.

В машиностроении различают условно три основных типа производства: массовое, серийное и единичное.

Массовым производством называется такое производство, при котором изготовление изделий ведется непрерывно. Характерным признаком массового производства является выполнение на каждом рабочем месте только одной закрепленной за ним непрерывно повторяющейся операции.

Продукцией массового производства являются однородные изделия установившегося типа, имеющие широкое применение и изготовляемые в больших количествах. Такой продукцией в Советском Союзе являются автомобили, тракторы, велосипеды, сельскохозяйственные машины, электродвигатели, швейные машины и т. п.

Серийным производством называется такое производство, при котором изготовление ведется партиями деталей и сериями изделий, регулярно повторяющимися через определенные промежутки времени. Характерным признаком серийного производства является выполнение на рабочих местах нескольких периодически повторяющихся операций.

Продукцией серийного производства являются машины установившегося типа, имеющие более или менее значительное распространение. Такой продукцией в Советском Союзе являются металлорежущие станки, стационарные двигатели внутреннего сгорания,

гидротурбины для небольших электростанций, насосы, компрессоры, башенные краны для строительных работ и т. п.

Единичным производством называется такое производство, при котором изготовление изделий либо не повторяется вовсе, либо повторяется через неопределенные промежутки времени. Характерным признаком единичного производства является выполнение на рабочих местах разнообразных операций при отсутствии периодического их повторения.

Продукцией единичного производства являются машины, не имеющие широкого применения, изготовляемые обычно по индивидуальным заказам, предусматривающим выполнение специальных требований. В основном единичное производство присуще тяжелому машиностроению, продукцией которого являются крупные гидротурбины, уникальные металлорежущие станки, прокатные станы, металлургическое оборудование и т. п.

Программа выпуска в массовом производстве обеспечивает возможность узкой специализации рабочих мест, за каждым из которых закрепляется выполнение только одной операции. В этом случае представляется возможным расположить оборудование в полном соответствии с технологическим процессом.

Например, при обработке штампованной заготовки ступенчатого вала имеет место следующий технологический процесс обработки

1. Фрезерование торцов вала и их зацентровка на фрезерно-центровальном двустороннем станке (*ФЦ*).

2. Черновое обтачивание вала с одной стороны на многорезцовом токарном полуавтомате (*ТП*).

3. Черновое обтачивание вала с другой стороны на многорезцовом токарном полуавтомате (*ТП*).

4. Чистовое обтачивание вала с одной стороны на многорезцовом токарном полуавтомате (*ТП*).

5. Чистовое обтачивание вала с другой стороны на многорезцовом токарном полуавтомате (*ТП*).

6. Фрезерование шпоночных канавок на шпоночно-фрезерном станке (*ШпФ*).

7 Черновое фрезерование шлицев на горизонтально-фрезерном полуавтомате с трехшпиндельной головкой (*ГФ*).

8. Чистовое фрезерование шлицев на шлицефрезерном полуавтомате (*ШлФ*).

9. Сверление поперечных отверстий на вертикально-сверлильном станке (*ВС*).

10. Нарезание резьбы на резьбофрезерном станке (*РФ*).

11. Предварительное шлифование шеек на круглошлифовальном полуавтомате (*КШ*).

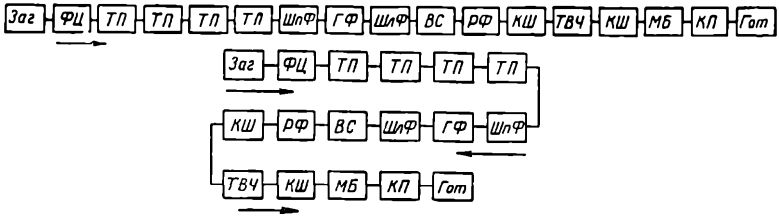
12. Термическая обработка шеек вала на установке для термообработки током высокой частоты (*ТВЧ*).

13. Чистовое шлифование шеек на круглошлифовальном полуавтомате (*КШ*).

14. Промывка вала в моечном баке (*МБ*).

15. Технический контроль на оборудованном контрольном посту (*КП*).

Расставив оборудование в соответствии с указанным технологическим процессом, и предусмотрев перед первой операцией место для заготовок вала (*Заг*) и после контрольного поста стеллаж для готовых валов (*Гот*), получим поточную линию обработки валов; при этом оборудование в цехе может быть размещено по прямой линии или зигзагообразно (фиг. 11).



Фиг 11 Варианты размещения поточных линий.

При условии подбора и настройки оборудования, обеспечивающих на всех рабочих местах заданную производительность, получим систему массового производства, называемую непрерывным потоком.

В этом случае на каждом рабочем месте выполняется одна и та же непрерывно повторяющаяся операция с заранее установленным темпом работы. Под темпом понимают промежуток времени, в течение которого протекает то или иное периодически (равномерно) повторяющееся явление. При поточном методе работы темп определяет равномерно повторяющийся промежуток времени (период), затрачиваемый в процессе производства на выпуск единицы продукции.

При заданном режиме работы цеха темп зависит исключительно от заданного выпуска и определяется как частное от деления времени в минутах на программное задание в штуках:

$$t = \frac{T}{N} \text{ мин/шт.}, \qquad (1)$$

где t — темп работы в минутах на одну штуку;

T — фонд рабочего времени в минутах (годовой, за смену или другой период времени);

N — выпуск в штуках за тот же период времени.

Темп весьма существенно влияет на технологический процесс, так как необходимость привести штучное время каждой операции к величине, равной или кратной темпу, обусловливает необходимость соответствующего расчленения технологического процесса

на операции и в некоторых случаях дублирования станков для получения требуемой производительности.

Несоблюдение темпа работы на каком-либо рабочем месте нарушает нормальную работу поточной линии.

Если производительность рабочего места менее заданной, то на этом рабочем месте будет накапливаться постоянно возрастающее количество необработанных заготовок или узлов, сборка которых не окончена; последующие рабочие места с большей производительностью находясь в полной зависимости от предшествующего рабочего места, будут работать с перерывами и выпуск всего потока будет отставать от заданного; рабочее место поточной линии, не обеспечивающее заданного выпуска, представляет собой так называемое «узкое место» потока, задерживающее выпуск продукции; это «узкое место» должно быть незамедлительно ликвидировано теми или иными мероприятиями.

Если производительность рабочего места больше заданной, то это рабочее место, находясь в полной зависимости от предшествующего рабочего места, будет работать с недогрузкой, а производительность потока не изменится и будет соответствовать расчетному выпуску

Рабочий темп потока является основной расчетной величиной, организующей все рабочие места поточных линий в единый производственный механизм.

В процессе производства неизбежны случайности, вызывающие кратковременные перерывы в работе на отдельных рабочих местах; поэтому во избежание перебоев в работе всей поточной линии на рабочих местах предусматриваются межоперационные заделы, обеспечивающие непрерывность работы всего потока.

При поточном методе работы перемещение обрабатываемых заготовок или собираемых узлов и изделий от одного рабочего места к другому в соответствии с последовательностью операций технологического процесса осуществляется либо вручную (на тележках, рольгангах, по желобам и т. п.), либо транспортирующим механизированным устройством непрерывного или периодического действия (конвейером или транспортером).

Достигнуть абсолютного равенства штучных времен по всем операциям не удается, и штучные времена по ряду операций обычно отклоняются от заданного темпа работы поточной линии, создавая технологически неизбежные простои.

Недогрузку рабочих устраняют за счет совмещенного обслуживания двух-трех единиц оборудования, с тем чтобы суммарное время их обслуживания не превышало темпа потока.

Производство большого количества однотипных изделий в течение более или менее продолжительного времени создает для него значительные преимущества.

Организационные цеховые и общезаводские расходы, весьма значительные в массовом производстве по своей абсолютной вели-

чине, вследствие распределения их на большое количество изделий выражаются незначительной величиной в штучной стоимости.

В связи с расположением рабочих мест поточным порядком исключается необходимость промежуточных складов; поэтому размеры незавершенного производства значительно снижаются, а следовательно, уменьшается величина оборотного фонда. Выполнение на каждом рабочем месте одних и тех же постоянно повторяющихся операций дает возможность в максимальной степени специализировать каждое рабочее место, повысить производительность труда и сократить длительность производственного цикла, что значительно повышает оборачиваемость вложенных в производство средств.

Технологические особенности серийного производства значительно изменяются в зависимости от номенклатуры, размера выпуска и трудоемкости изделий; поэтому различают мелкосерийное и крупносерийное производство.

Мелкосерийное производство весьма незначительно отличается по своим технологическим особенностям от единичного производства; здесь, как и в единичном производстве, применяются преимущественно универсальное оборудование с расположением его в цехах по типам станков, нормальный рабочий и универсальный измерительный инструмент.

В крупносерийном производстве, наряду с универсальным оборудованием, достаточно широко применяется оборудование специального назначения, а также специальные и агрегатные станки; располагается оборудование в цехах не по типам станков, а по изготовляемым предметам и в ряде случаев в соответствии с выполняемым технологическим процессом; наряду с нормальным применяются специальный рабочий инструмент, предельные калибры и специальные контрольные приспособления.

Размер партии в серийном производстве, под которым понимают количество одновременно запускаемых в производство заготовок, устанавливается в зависимости от ряда производственных факторов; в частности, на размер партии влияют номенклатура выпускаемых изделий и годовой выпуск каждого из них, календарные сроки выпуска изделий, длительность производственных процессов, длительность наладки оборудования и т. п.

Технико-экономические преимущества поточно-массового производства обусловили распространение применяемых в нем методов на серийное производство.

Для наиболее трудоемких деталей и общей сборки узлов в крупносерийном производстве создаются поточные линии по типу линий массового производства.

Создаются также групповые поточные линии, на которых обрабатываются несколько деталей, близких по конструкции и технологическим процессам. Такие линии в большинстве случаев не требуют длительной переналадки при переходе от обработки одной детали к другой.

Ряд технологических методов, возникших в поточно-массовом производстве, с успехом применяется не только в серийном, но даже в единичном производстве, в частности, например, параллельная обработка поверхностей заготовок достаточно широко применяется в тяжелом машиностроении, для которого характерно единичное производство, чем достигается значительное сокращение длительности цикла обработки; оправдывается также в единичном производстве расчленение сборки на узловую и общую, а также ряд других технологических мероприятий, применяемых в серийном и поточно-массовом производствах.

В ряде случаев на отдельных участках заводов массового производства работа выполняется серийным порядком. В частности, наряду с поточной общей сборкой машины и трудоемких ее узлов, производится серийная сборка узлов малой трудоемкости. Механическая обработка нетрудоемких деталей также осуществляется в серийном порядке.

В цехах холодной листовой штамповки и в кузнечных цехах массового производства вследствие высокой производительности технологического оборудования этих цехов поточно-массовая обработка может быть осуществлена только при очень большом выпуске изделий, поэтому в большинстве случаев эти цехи работают по принципу серийного производства.

Провести резкую грань между крупносерийным и поточно-массовым производствами весьма затруднительно, так как тип производства определяется здесь номенклатурой изделий, их трудоемкостью и программным заданием. В зависимости от этих факторов принципы поточно-массового производства проводятся в большей или меньшей степени в серийном производстве.

Нельзя также провести резкую грань между мелкосерийным и единичным производством.

Таким образом, понятие о типах производств является условным. Можно называть производство массовым, если на большинстве рабочих мест выполняется одна постоянно повторяющаяся операция и если рабочие места расположены в порядке, соответствующем технологическому процессу. Если же на большинстве рабочих мест выполняется несколько периодически повторяющихся операций, то такое производство следует считать серийным. Отсутствие периодичности повторения операций на рабочих местах характеризует единичное производство.

ГЛАВА II

ТОЧНОСТЬ В МАШИНОСТРОЕНИИ

§ 1 ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ ПОГРЕШНОСТИ И СПОСОБЫ ПОЛУЧЕНИЯ ЗАДАННЫХ РАЗМЕРОВ

Понятие о точности и производственных погрешностях. Общая характеристика погрешностей изготовления деталей и сборки машин. Способы автоматического и индивидуального получения заданных размеров.

Опытом установлено, что при изготовлении деталей машин и при их сборке неизбежны те или иные погрешности, и что при осуществлении машины любой конструкции достигнуть абсолютной ее точности не представляется возможным.

Поэтому взаимное положение элементов машины не может быть абсолютно точным даже при статической ее проверке. Еще более понижают точность взаимного положения элементов машины упругие деформации под влиянием нагрузок, температурные деформации и нормальный износ деталей машины в процессе ее работы.

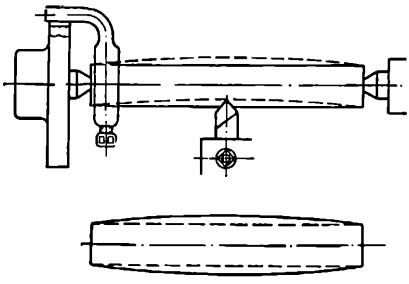
Допускаемое отклонение во взаимном положении элементов машины должны быть установлены конструктором исходя из назначения проектируемой машины и условий ее эксплуатации, с учетом деформаций и нормального износа ее деталей, а также с учетом технологических возможностей производства.

Установленные конструктором допускаемые отклонения весьма существенно влияют на построение технологических процессов производства, которые должны обеспечить достижение заданной точности. С другой стороны, объем обработки и построение технологических процессов зависят от точности черных заготовок (проката, поковок, отливок) и степени отклонения их форм и размеров от форм и размеров готовых деталей.

В ходе технологического процесса механической обработки заготовок, в свою очередь, получаются отклонения от заданных размеров, геометрических форм и взаимного положения элементарных поверхностей изготовленных деталей машин. Так, при обработке ступенчатого валика действительные диаметральные размеры его ступеней будут в той или иной степени отклоняться от заданных номинальных размеров; сечения ступеней валика будут отклоняться от круглой формы, а поверхности этих ступеней — от цилиндрической формы; торцовые поверхности валика не будут абсолютно перпендикулярны его оси; если валик будет обработан не за один, а за два установа,

то оси его ступеней могут иметь отклонение от соосности. При этом в реальных производственных условиях при обработке хотя бы только нескольких одинаковых деталей не представляется возможным достигнуть полной их идентичности.

Получающиеся в производственных условиях отклонения обусловливаются множеством причин, одни из которых оказывают ничтожное, другие — существенное влияние на величину отклонений.



Фиг. 12. Искажение формы вала при обтачивании его в центрах

Отсутствие стабильности силы резания как результат колебаний размеров заготовок по сечению и длине и отклонений механических свойств обрабатываемого материала приводит вследствие упругих отжатий узлов станка к изменению взаимного положения обрабатываемой поверхности и установленного на размер режущего инструмента; в результате этого происходит определенное колебание получаемого при обработке размера.

Геометрические погрешности станков переносятся на обрабатываемые поверхности. Так, например, в результате непараллельности перемещения суппорта по направляющим станины токарного станка относительно оси шпинделя получится, при консольном креплении заготовки, не цилиндрическая, а коническая поверхность; неперпендикулярность верхних направляющих суппорта к оси вращения шпинделя обусловливает отклонение от перпендикулярности подрезанных торцов валика к его оси. Погрешности, неизбежные при каждом новом установе заготовки для обработки, приводят к отклонению размеров и особенно пространственного положения обработанных поверхностей. Например, ступени валика, обработанные при разных установах, имеют отклонения от соосности.

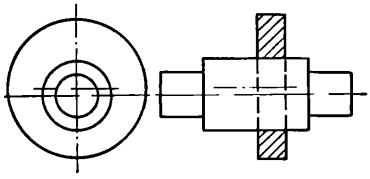
Заготовки нежесткой конструкции при закреплении и в процессе обработки получают упругие деформации, оказывающие влияние на точность их размеров и форм. При обработке недостаточно жесткого валика в центрах, возникают упругие прогибы его под влиянием силы резания, которые могли бы привести к получению не цилиндрического, а бочкообразного валика (фиг. 12); однако одновременно действующие другие факторы в той или иной степени исказят образующуюся бочкообразность.

Более полное изложение причин, вызывающих производственные погрешности, будет дано в дальнейшем изложении. Сейчас лишь укажем, что, помимо действительных погрешностей обработки, происходят также и ошибки измерений, которые обусловливаются влиянием температурных и упругих деформаций измерительного

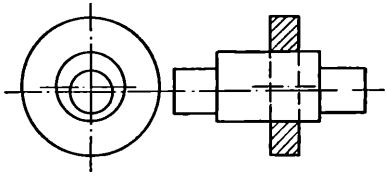
инструмента и измеряемой детали, точностью метода измерения и применяемых измерительных средств и ошибками, зависящими от контролера, производящего измерения.

Температурные колебания в цехах, даже при наиболее благоприятных условиях, составляют 2—3° и ошибки, вызываемые этими колебаниями, достигают примерно 3 *мк* на размере 100 *мм*.

Упругие деформации измерительных скоб достигают 3 *мк* для тяжелых и 6 *мк* для легких скоб на 1 *кг* давления. Упругие деформации измеряемой детали нежесткой конструкции достигают значительной величины и при неудачном выборе методов измерения внешнего диаметра могут дать ошибочные результаты, причем при



Фиг. 13. Радиальное биение в результате эксцентричности отверстия охватывающей детали



Фиг 14. Радиальное биение в результате отклонения от соосности ступеней у охватываемой детали.

различных методах измерения показания различных инструментов (приборов) могут оказаться несопоставимыми.

Производственные погрешности изготовленных деталей машин вызывают погрешности сборки; в частности, отклонения размеров сопрягаемых поверхностей, влияя на величину зазоров и натягов, ухудшают посадку; погрешности формы сопрягаемых поверхностей также ухудшают посадку; пространственные отклонения создают радиальное биение как результат эксцентричности отверстия у охватывающей детали (фиг. 13) или отклонения от соосности у охватываемой детали (фиг 14); осевое биение $\Delta_б$ вследствие неперпендикулярности торцовой поверхности к оси отверстия у охватывающей детали (фиг. 15); неправильное зацепление зубчатых колес в результате непараллельности осей подшипников (фиг. 16) и т. п.

Погрешности выдерживаемых размеров, зазоров и натягов, возникающие при сборке, определяются путем решения размерных цепей [1]

Ошибка, получающаяся на замыкающем звене размерной цепи, равна сумме ошибок всех остальных звеньев, составляющих данную размерную цепь [7, 8]

$$\omega_\Delta = \sum_{i=1}^{m-1} \omega_i. \qquad (2)$$

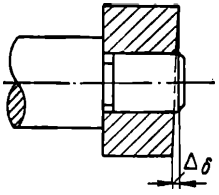
[1] Размерный анализ и теория размерных цепей излагаются в курсе «Допуски и технические измерения». Поэтому здесь даются только основные уравнения размерных цепей.

Если от ошибок перейти к допускам, то допуск замыкающего звена размерной цепи равен сумме абсолютных значений допусков всех остальных ее звеньев, т. е.

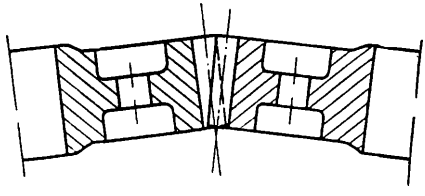
$$\delta_{\Delta} = \sum_{i=1}^{m-1} \delta_i, \qquad (3)$$

где δ_{Δ} — величина допуска замыкающего звена размерной цепи;
δ_i — величина допуска i-го звена этой же цепи;
m — общее количество всех звеньев размерной цепи, включая и замыкающее звено;

Следовательно, величина допуска замыкающего звена определяется суммой абсолютных значений допусков всех остальных звеньев размерной цепи (за исключением замыкающего).



Фиг. 15. Осевое биение вследствие неперпендикулярности торцовой поверхности к оси отверстия



Фиг. 16. Неправильное зацепление зубчатых колес вследствие непараллельности осей подшипников

Помимо отклонений, получающихся у деталей машин вследствие производственных погрешностей, в процессе сборки возникают свои производственные отклонения, независимо от точности выполнения деталей. Такими отклонениями являются главным образом перекосы, т. е. угловые перемещения деталей, происходящие вследствие возникающих при сборке смещений от заданных направлений (неправильная установка, неравномерная затяжка при винтовых соединениях и т. п.). Таким образом, погрешности сборки характеризуются как размерными, так и пространственными отклонениями.

Результативная погрешность пространственных отклонений деталей машин и пространственных отклонений, возникших в процессе сборки, определяется не только их величиной, но также и направлением, т. е. как векторная сумма.

Из фиг. 17 видна схема образования результативной погрешности при сборке.

Втулка с погрешностью в виде эксцентриситета устанавливается в корпус с зазором и фиксируется винтом.

Суммарное векторное значение результативной погрешности c равно:

$$\bar{c} = \bar{a} + \bar{b} = \sqrt{a^2 + b^2 + 2ab\cos(\bar{a}\,\bar{b})}, \qquad (4)$$

где b — вектор, характеризующий пространственное отклонение детали (эксцентриситет);

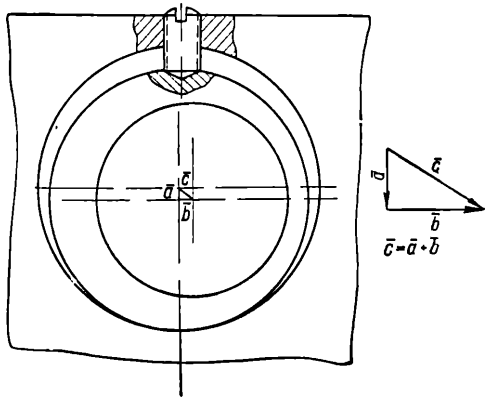
$\bar{a}$ — вектор, характеризующий пространственное отклонение, возникшее в процессе сборки (смещение на зазоре посадки);

$(\bar{a}\ \bar{b})$ — угол, образованный вектором $\bar{b}$ с вектором $\bar{a}$.

Допускаемые производственные погрешности, возникающие в процессе сборки, должны устанавливаться в соответствии с допускаемыми отклонениями положения звеньев в собранном механизме.

В производственных условиях размеры изделий могут быть выдержаны в пределах установленных допусков, либо способом автоматического, либо способом индивидуального получения заданных размеров.

Способ автоматического получения заданных размеров характеризуется выполнением работ на предварительно настроенном оборудовании, без непосредственного воздействия исполнителя на получающиеся размеры.



Фиг. 17. Схема результативной погрешности смещения осей втулки и отверстий в корпусе при установке.

Этот способ выполнения заготовок распространяется на все методы штамповки и литья, за исключением литья в земляные формы ручной формовки, когда расталкивание модели при ее извлечении из формы и подправка поверхности земляной формы гладилкой нарушают автоматичность получения размеров.

Обработка заготовок способом автоматического получения размеров производится на предварительно настроенных станках, т. е. установленным на размер инструментом, положение которого по направлению выдерживаемого размера не меняется для партии заготовок, обработанной до смены или подналадки (регулировки) инструмента.

Способ автоматического получения заданных размеров требует применения приспособлений и обычно более сложной наладки станка. В этом случае полностью исключается разметка заготовок и выверка их при установке для обработки.

К этому способу относится сборка, осуществляемая методами взаимозаменяемости.

Способ автоматического получения заданных размеров применяют в серийном и массовом производствах; при этом достигается

точность в пределах установленных допусков и идентичность выпускаемых изделий в этих пределах.

Способ индивидуального получения заданных размеров характеризуется погрешностями, в значительной степени зависящими от исполнителя работы и его производственных навыков.

К выполнению заготовок этим способом относятся свободная ковка и литье в земляные формы ручной формовки. При свободной ковке погрешности поковки в значительной степени зависят от производственных навыков кузнеца, выдерживающего заданные размеры и формы поковки путем пробных промеров в процессе ковки.

При выполнении нескольких одинаковых поковок свободной ковкой размеры и геометрические формы каждой из них получаются индивидуально и значительно различаются между собой.

При ручной формовке точность выполнения формы и, в частности, плотность ее набивки, величина расталкивания при извлечении модели из формы и погрешности подправки поверхности земляной формы гладилкой также зависят от производственных навыков формовщика.

При обработке заготовок способом индивидуального получения размера станки предварительно не настраиваются, а размеры выдерживаются путем пробных проходов и промеров. Рабочий делает пробные проходы на небольшую длину и измеряет получающиеся размеры; пробные проходы прекращают при совпадении полученного размера с заданным; после этого производят обработку всей поверхности по размеру, полученному при последнем пробном проходе. Очевидно, что точность обработки этим способом зависит, в частности, от производственных навыков рабочего-станочника и погрешности измерения, что обусловливает при обработке нескольких одинаковых заготовок индивидуальное получение размеров для каждой из них и, следовательно, более или менее значительное их различие.

Способ индивидуального получения размеров в ряде случаев связан с выверкой каждой заготовки при ее установке на станке, что обычно требует предварительной разметки заготовок.

К этому способу относится сборка методом индивидуальной пригонки соединяемых деталей машин.

Применение способа индивидуального получения заданных размеров, связанное с высокой квалификацией исполнителей и большой трудоемкостью рабочих процессов, ограничивается, как правило, единичным и иногда мелкосерийным производством; при этом может быть достигнуто высокое качество посадок и высокая точность положения звеньев механизмов.

В тяжелом машиностроении обычно применяют метод работы по формуляру, заключающийся в том, что сначала обрабатывают одну из сопрягаемых деталей, производят тщательный ее обмер и заносят размеры в формуляр детали; учитывая необходимые

зазоры и натяги определяют размеры парной детали, которые и выдерживаются при ее изготовлении.

Метод работы по формуляру относится, разумеется, к способу индивидуального получения размеров, как основанный на пробных проходах и промерах. Способ индивидуального получения размеров, вне зависимости от типа производства, применяется при выполнении шлифовальных операций.

Быстрота износа шлифовального круга при требуемой высокой точности обработки заставляет через короткие промежутки времени делать правку круга, вслед за ней корректировать положение круга и пробными проходами и промерами подходить к заданному размеру. При этом способ индивидуального получения размера имеет место независимо от того, как производится промер и новая установка круга на глубину резания, — рабочим вручную с остановкой станка или на ходу станка, при помощи автоматически действующих мерительных устройств (скоб, калибров) и автоматических подналадчиков. В обоих случаях положение инструмента не остается постоянным для партии заготовок, а корректируется в процессе выполнения операции на основе данных, полученных при пробных промерах. Только при глубинном методе шлифования (шлифование установленным кругом) применяется способ автоматического получения заданных размеров.

Применение способов автоматического или индивидуального получения заданных размеров зависит, как было уже сказано, от объема выпуска и диктуется главным образом технико-экономическими соображениями.

Производственные погрешности могут быть доведены соответствующими технологическими мероприятиями при обоих способах до отклонений, установленных на основании анализа требуемой точности проектируемых машин и механизмов.

§ 2. УСТАНОВКА ЗАГОТОВОК ДЛЯ ОБРАБОТКИ НА СТАНКАХ

Поверхности, различаемые при установке заготовок для обработки на станках. Понятие об установочных базах, о базировании заготовок и об измерительных базах. Особенности базирования заготовок при обработке способами автоматического и индивидуального получения размеров. Понятие о погрешности базирования. Принцип совмещения установочной и измерительной баз. Принцип постоянства установочной базы. Обоснование установки заготовок на точечные опоры. Размещение опор. Понятие о сборочной базе. Взаимосвязь сборочной, установочной и измерительной баз. Руководящие соображения при выборе базирующих поверхностей.

Погрешности, вызываемые закреплением заготовок при их установке.

Суммирование погрешностей базирования и закрепления.

Геометрический анализ связей между конструктивными и технологическими размерами. Установка заготовок без выверки и с выверкой по обрабатываемой поверхности. Целевое назначение разметки. Выверка по разметке и по обработанным поверхностям заготовки. Области применения разметки и установки с выверкой.

Одной из причин, вызывающих погрешность выдерживаемого при обработке размера и пространственные отклонения во взаимном положении геометрических элементов обрабатываемой заготовки,

является погрешность ее установки для обработки на станке. Необходимо поэтому рассмотреть возникающие при установке погрешности, их влияние на точность обработки и основные положения, которые следует соблюдать при установке.

При установке заготовок для обработки на станках следует различать: а) обрабатываемые поверхности, подвергающиеся воздействию рабочего инструмента; б) поверхности, посредством которых ориентируют заготовку относительно установленного на размер инструмента при способе автоматического получения размеров или относительно рабочих элементов станка, если обработка производится способом индивидуального получения размеров; в) поверхности, воспринимающие воздействие зажимных устройств; г) поверхности, от которых производится измерение выдерживаемого размера; д) свободные, т. е. не использованные при данной установке поверхности.

Поверхности, линии и точки заготовки, ориентирующие ее при установке для обработки на станке, называют базирующими элементами или установочными базами, а придаваемое заготовке положение, определяемое базирующими элементами, называют ее базированием.

Поверхности, линии и точки, от которых производят измерения выдерживаемых размеров, называют измерительными базами.

Обрабатываемые поверхности, установочные и измерительные базы, а также направление силы резания определяют при установке размещение установочных элементов, зажимов и упоров.

Следует различать: 1) установку для обработки способом автоматического получения заданных размеров, когда положение измерительной базы относительно установленного на размер инструмента непосредственно влияет на допуск выдерживаемого размера; 2) установку для обработки способом индивидуального получения заданных размеров, когда положение измерительной базы относительно инструмента не оказывает влияния на допуск выдерживаемого размера, так как заданный размер получается путем пробных проходов и промеров непосредственно от измерительной базы.

Рассмотрим, как изменяется положение измерительной базы в зависимости от принятой схемы базирования при обработке партии заготовок способом автоматического получения размеров.

При этом способе обычно применяют специальные рабочие приспособления[1], под которыми понимают устройства, состоящие из установочных, зажимных и направляющих инструмент элементов, смонтированных в общем корпусе и придающих заготовке определенное положение относительно установленного на размер режущего инструмента.

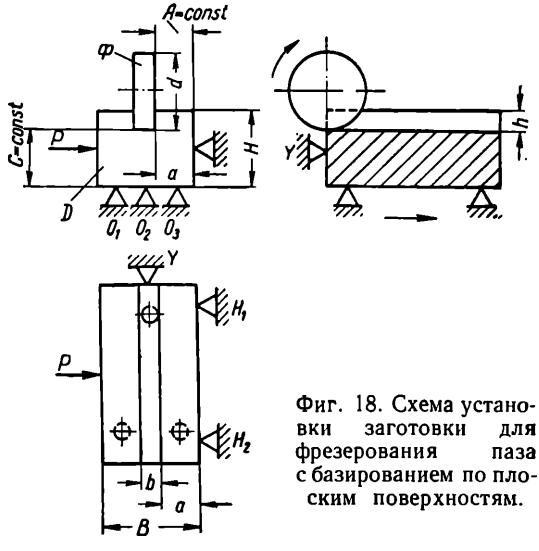
---

[1] За исключением обработки деталей, представляющих собой тела вращения, для установки которых преимущественно применяют нормальные принадлежности к станкам или универсальные приспособления.

Иногда специальные рабочие приспособления снабжаются поворотными и делительными устройствами, съемниками или выталкивателями для удаления из приспособления обработанных заготовок и другими дополнительными элементами [1].

При обработке способом автоматического получения размеров станок предварительно настраивают, т. е. устанавливают инструмент и приспособление в такое взаимное положение, при котором автоматически получают заданные размеры.

При этом взаимное положение режущего инструмента и приспособления остается неизменным до очередной регулировки, требующейся вследствие размерного износа инструмента или новой наладки в связи со сменой затупившегося инструмента. Обрабатываемые заготовки при их установке в приспособление автоматически занимают вполне определенное положение относительно установленного на размер инструмента, не требуя какой-либо выверки.



Фиг. 18. Схема установки заготовки для фрезерования паза с базированием по плоским поверхностям.

На фиг. 18 показана схема установки заготовки D для фрезерования в ней паза фрезой $Ф$. Установочные элементы приспособления: O_1, O_2 и O_3 — опорные; H_1 и H_2 — направляющие, т. е. ориентирующие заготовку относительно фрезы $Ф$ по размеру a; Y — упор; P — зажим. Фреза установлена на размер $A = \text{const}$ относительно направляющих элементов приспособления и $C = \text{const}$ относительно его опорных элементов. В партии заготовок размеры B и H колеблятся в пределах установленных допусков от B_{min} до B_{max} и от H_{min} до H_{max}. Из геометрических связей устанавливаем, что независимо от колебания размера B имеем: $a = A = \text{const}$; в этом случае имеем совмещение установочной и измерительной баз; следовательно колебание размеров a и b в партии, обработанных фрезой заготовок будет вызвано только явлениями, имевшими место в процессе обработки (отжатия, износ фрезы и т. п.), так как установка заготовки обеспечивает в данном случае постоянство размера a.

[1] Элементы приспособлений рассматриваются в курсе «Основы конструирования приспособлений», поэтому здесь ограничимся лишь общими указаниями.

Иная картина получается для глубины паза h. В этом случае погрешность обработки, получившаяся в результате упругих отжатий фрезы, размерного ее износа и других действующих в процессе резания факторов, увеличивается вследствие изменения положения измерительной базы. Предельное значение смещений измерительной базы относительно установленного на размер инструмента определяется из геометрических связей:

$$h_1 = H_{max} - C;$$

$$h_2 = H_{min} - C;$$

таким образом,

$$h_1 - h_2 = H_{max} - H_{min},$$

или

$$\varepsilon_h = \delta_H, \tag{5}$$

где ε_h — погрешность базирования, т. е. разность предельных расстояний измерительной базы относительно установленного на размер инструмента;

δ_H — допуск на размер заготовки H.

Установка на плоские поверхности при несовмещенных установочной и измерительной базах дает погрешность базирования по выдерживаемому размеру ε_h, равную допуску на размер заготовки δ_H связывающий установочную и измерительную базы.

Таким образом, суммарная погрешность по выдерживаемому размеру ω_h слагается из погрешности обработки τ_h и погрешности базирования заготовки ε_h, т. е.

$$\omega_h = \tau_h + \delta_H.$$

При обработке паза по фиг. 18 способом индивидуального получения размеров каждая заготовка выверяется и закрепляется на столе станка так, чтобы ее боковая сторона была параллельна направлению подачи, а фреза путем пробных проходов устанавливается на расстояние A; при таких условиях может быть выдержан размер a по всей длине.

В этом случае положение измерительной базы относительно рабочего инструмента не имеет значения, так как инструмент устанавливается на обработку путем пробных проходов и промеров непосредственно от измерительной базы для каждой обрабатываемой заготовки; размер h, таким образом, выдерживается независимо от действительного размера H. В этом случае погрешность по выдерживаемому размеру ω_h определяется только погрешностью обработки τ_h, т. е. $\omega_h = \tau_h$.

Относительно обработки способом автоматического получения размеров можно сделать следующие выводы.

1. При совмещенных установочной и измерительной базах погрешность базирования не имеет места ($\varepsilon_\delta = 0$). Поэтому во всех случаях,

когда это возможно, стремятся при базировании обрабатываемых заготовок к совмещению установочной и измерительной баз, т. е. выбирают в качестве установочной базы поверхность, от которой задан выдерживаемый размер.

2. Погрешность базирования при несовмещенных установочной и измерительной базах определяется разностью предельных расстояний измерительной базы от установленного на размер режущего инструмента.

При базировании по внешней поверхности вращения с установкой на призму для обработки плоскости или паза (фиг. 19) предельные отклонения измерительной базы A' и A'' — относительно установленного на размер инструмента A''' определяются величиной $A'A''$ — или разностью $h_1 - h_2$; при этом

$$\varepsilon_h = h_1 - h_2 = A'A'' = OA' - OA'';$$

$$OA' = OC' + C'A' = \frac{C'K'}{\sin\frac{\alpha}{2}} + C'A' = \frac{D_{max}}{2\sin\frac{\alpha}{2}} + \frac{D_{max}}{2} =$$

$$= \frac{D_{max}}{2}\left(\frac{1}{\sin\frac{\alpha}{2}} + 1\right);$$

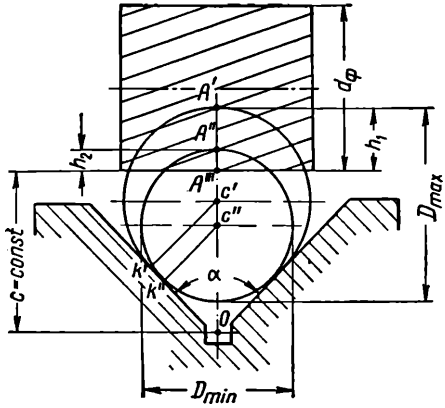
по аналогии

$$OA'' = \frac{D_{min}}{2}\left(\frac{1}{\sin\frac{\alpha}{2}} + 1\right);$$

$$OA' - OA'' = \frac{\delta_D}{2}\left(\frac{1}{\sin\frac{\alpha}{2}} + 1\right);$$

следовательно,

$$\varepsilon_h = \frac{\delta_D}{2}\left(\frac{1}{\sin\frac{\alpha}{2}} + 1\right), \qquad (6)$$



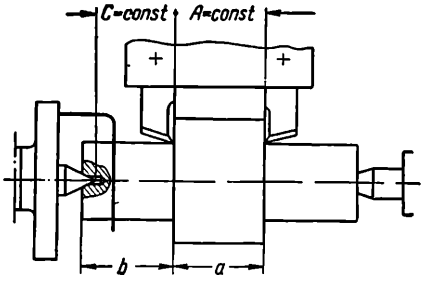
Фиг. 19. Схема установки заготовки для фрезерования лыски с базированием по цилиндрической поверхности

где ε_h — погрешность базирования, влияющая на допуск по размеру;
δ_D — допуск на диаметральный размер заготовки;
α — угол призмы.

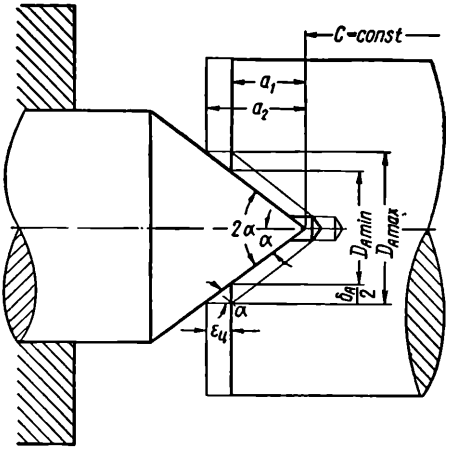
При установке на жесткий передний центр и параллельной обработке торцов в размер a погрешность базирования не влияет на выдерживаемый размер a, но влияет на допуск по размеру b от левого торца, являющегося для этого размера измерительной базой (фиг. 20). Резцы установлены на размеры $C = \text{const}$ и $A = \text{const}$. Если бы все центровые гнезда в партии заготовок были засверлены совершенно одинаково, то размер b был бы постоянным

для всей партии заготовок. Однако вследствие погрешностей зацентровки по глубине диаметральные размеры центровых гнезд в партии заготовок будут меняться от D_{max} до D_{min}, а в связи с этим будет меняться расстояние измерительной базы (левый торец вала) относительно резца, установленного на размер $C = \text{const}$. Таким образом, величина погрешности базирования относительно размера b определяется из геометрических связей по фиг. 21:

$$\varepsilon_ц = \frac{\delta_A}{2 \operatorname{tg} \alpha}, \qquad (7)$$



Фиг. 20. Установка заготовки на жесткий передний центр.



Фиг 21 Просадка центров в зависимости от допуска на размер центрового гнезда (штриховка в месте сопряжения центра и центрового гнезда условно не показана).

где $\varepsilon_ц$ — разность предельных расстояний от торца заготовки до вершины центра, т. е. погрешность базирования или просадка центра $\varepsilon_ц = a_2 - a_1$;

δ_A — допуск на диаметральные размеры конической части центровых гнезд;

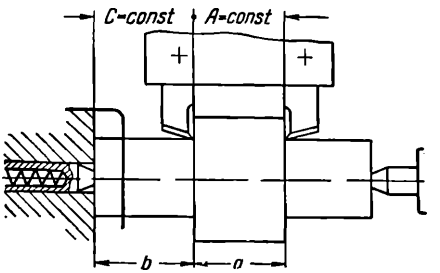
α — половина угла при вершине конуса.

При смене центров допуск на диаметр их конической части не оказывает влияния на погрешность базирования, так как смену центров всегда связывают с новой наладкой станка, при которой так или иначе выдерживают расстояние $C = \text{const}$.

Принимая допуски для диаметральных размеров конической части центровых гнезд по 5-классу точности и округляя результаты вычислений, получим для центровых гнезд по ОСТу 3725 с углом при вершине конуса 60° для размеров от 1 до 30 *мм* следующие значения $\varepsilon_ц$:

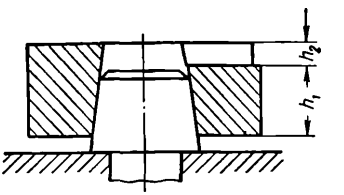
D_A в *мм*	1; 2; 2,5;	4; 5; 6	7,5; 10	12,5; 15	20; 30
$\varepsilon_ц$ в *мк*	100	140	180	210	240

При установке на плавающий передний центр (фиг. 22) положение левого торца вала для всей партии заготовок будет определяться упором и сохраняться постоянным относительно резцов, установленных на размеры C = const и A = const. В этом случае совмещаются установочная и измерительная базы и, следовательно, $\varepsilon_b = 0$.



Фиг. 22. Базирование заготовки на плавающий передний центр.

Аналогично изложенному при установке по коническому отверстию на жесткий конический палец для обработки паза (фиг 23) погрешность базирования для размеров h_1 и h_2 определится из выражения



Фиг. 23. Базирование по коническому отверстию на жесткий конический палец.

$$\varepsilon_{h_1} = \varepsilon_{h_2} = \frac{\delta_A}{2 \operatorname{tg} \alpha},$$

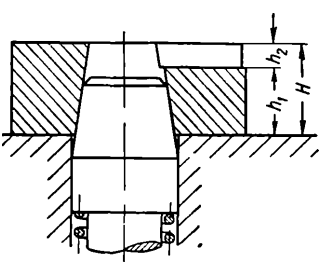
где δ_A — допуск на диаметральный размер базового конического отверстия;

α — половина угла при вершине конуса.

При установке на плавающий конический палец (фиг. 24)

$$\varepsilon_{h_1} = 0; \quad \varepsilon_{h_2} = \delta_H,$$

где δ_H — допуск на размер H.



Фиг. 24. Базирование по коническому отверстию на плавающий конический палец.

При базировании по цилиндрическому отверстию на жесткой оправке со свободной посадкой и закреплением гайкой для обработки верхней плоскости детали, показанной на фиг. 25, получаем наибольшее смещение оси отверстия относительно оси оправки при наибольшем диаметре отверстия (D_{max}) и наименьшем диаметре оправки (d_{min}); поэтому из геометрических связей по фиг 25 получим при установке инструмента на размер C = const

$$\varepsilon_h = h_1 - h_2;$$

$$h_1 = C + \frac{D_{max} - d_{min}}{2} = C + \frac{S_{max}}{2};$$

$$h_2 = C - \frac{D_{max} - d_{min}}{2} = C - \frac{S_{max}}{2},$$

где S_{max} — наибольший зазор;

следовательно,

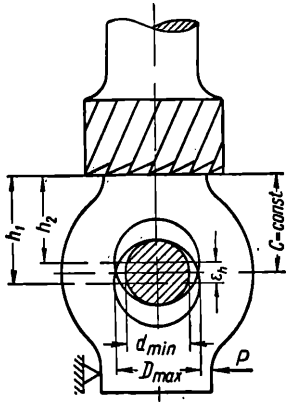
$$\varepsilon_h = \left(C + \frac{S_{max}}{2}\right) - \left(C - \frac{S_{max}}{2}\right) = S_{max}.$$

Как известно,

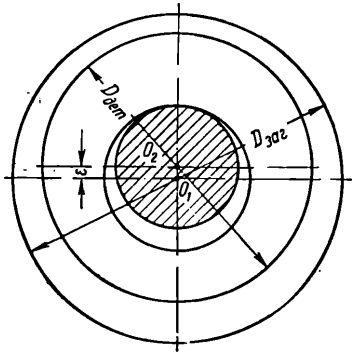
$$S_{max} = S_{min} + \delta_A + \delta_B;$$

таким образом,

$$\varepsilon_h = S_{min} + \delta_A + \delta_B, \qquad (8)$$



Фиг. 25. Базирование по цилиндрическому отверстию на жесткую оправку со свободной посадкой для обработки плоской поверхности.



Фиг. 26. Базирование по цилиндрическому отверстию на жесткую оправку со свободной посадкой для обработки цилиндрической поверхности.

где S_{min} — минимальный гарантированный зазор, принимаемый по стандарту;

δ_A — допуск по диаметральному размеру базирующего отверстия;

δ_B — допуск по диаметру оправки.

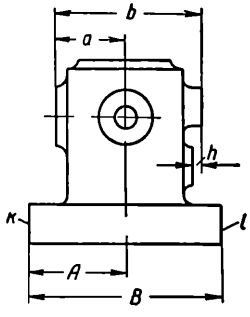
При прессовой посадке на жесткую оправку и при посадке на разжимную оправку зазоры и смещение оси отверстия относительно оси оправки исключаются, а следовательно, погрешность базирования не имеет места ($\varepsilon_\delta = 0$).

При установке заготовки $D_{заг}$ на жесткую оправку с базированием по отверстию со свободной посадкой и закреплением гайкой для обработки поверхностей вращения (фиг. 26), также возможно смещение оси отверстия O_1 относительно оси оправки O_2 на величину ε; однако эта погрешность базирования не влияет на допуск по диаметральному размеру, так как поверхность вращения образуется относительно оси вращения O_2 независимо от величины и направле-

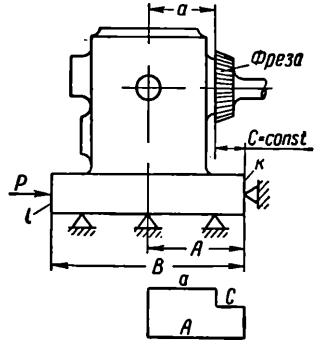
ния смещений оси заготовки O_1 относительно оси вращения (оправки) O_2. В результате этого получаем пространственное отклонение — эксцентричность обработанной поверхности вращения $D_{дет}$ относительно отверстия.

Рассмотрим погрешности базирования при последовательной обработке в размеры a, b и h плоскостей заготовки, показанной на фиг. 27. Обработка производится способом автоматического получения размеров.

Нижняя плоскость и боковые плоскости k и l заготовки приняты за установочную базу и обработаны на предшествующих операциях;



Фиг. 27 Деталь с плоскими поверхностями, обрабатываемыми в размеры a, b и h.



Фиг. 28. Обработка плоскости в размер a с базированием по плоскости k.

при этом от оси заготовки до плоскости k выдержан размер A с допуском δ_A. Размер A задан технологом для получения размера a в пределах установленного допуска.

При определении погрешностей базирования воспользуемся основными уравнениями размерных цепей [формулы (2) и (3)] с построением их применительно к каждой установке заготовки для обработки на станке.

Для обработки плоскости в размер a ориентируем заготовку по боковой плоскости k (фиг. 28). Из размерной цепи имеем:

$$\varepsilon'_a = \delta_C + \delta_A;$$

так как $C = \text{const}$, то $\delta_C = 0$; таким образом, $\varepsilon'_a = \delta_A$, т. е., как нам уже известно, погрешность базирования в этом случае равна допуску на размер, связывающий установочную и измерительную базы.

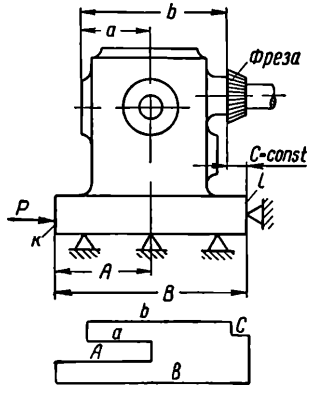
Для обработки плоскости в размер b ориентируем деталь по боковой плоской поверхности l (фиг. 29). В этом случае из размерной цепи имеем

$$\varepsilon'_b = \delta_B + \delta_A + \delta_a.$$

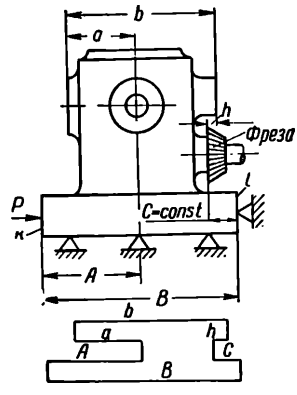
Для обработки плоскости в размер h применяем ту же принципиальную схему установки (фиг. 30) и, пользуясь тем же методом расчета, получаем

$$\varepsilon'_h = \delta_B + \delta_A + \delta_a + \delta_b.$$

Иные погрешности базирования получаются, если при обработке плоскостей в размеры a, b и h ориентировать деталь во всех трех случаях по боковой плоской поверхности k. Тогда получим:



Фиг. 29. Обработка плоскости в размер b с базированием по плоскости l.



Фиг. 30. Обработка плоскости в размер h с базированием по плоскости l.

при обработке в размер a (фиг. 28)

$$\varepsilon''_a = \delta_A, \quad \text{т. е.} \quad \varepsilon''_a = \varepsilon'_a;$$

при обработке в размер b (фиг. 31)

$$\varepsilon''_b = \delta_a + \delta_A, \text{ т. е. } \varepsilon''_b < \varepsilon'_b,$$

так как

$$\delta_a + \delta_A < \delta_B + \delta_A + \delta_a;$$

при обработке в размер h (фиг. 32)

$$\varepsilon''_h = \delta_b + \delta_a + \delta_A, \text{ т. е. } \varepsilon''_h < \varepsilon'_h,$$

так как

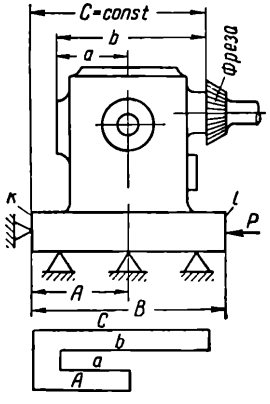
$$\delta_b + \delta_a + \delta_A < \delta_B + \delta_A + \delta_a + \delta_b.$$

Таким образом, в двух последних случаях (фиг. 31 и 32) погрешность базирования уменьшилась на величину допуска по размеру B, т. е. на величину δ_B. При этом уменьшение погрешности базирования получено применением постоянной базы при обработке всех трех плоскостей в размеры a, b и h.

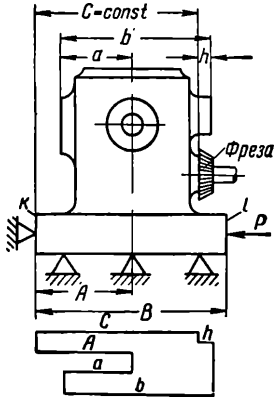
Анализируя погрешности базирования при переменных и постоянных базах для различных случаев обработки разнообразных заго-

товок приходим к выводу, что применением постоянной базы достигаем во всех случаях уменьшения погрешности базирования.

Принципиальные схемы установок, показанные на фиг. 28, 31 и 32, обеспечивают, как мы видели, уменьшение погрешности базирования и широко применяются в производственных условиях. Однако применением при постоянной установочной базе иной принципиальной схемы установки можно достигнуть еще большего эффекта.



Фиг. 31. Обработка плоскости в размер b с базированием по плоскости k.



Фиг. 32. Обработка плоскости в размер h с базированием по плоскости k.

Ориентируя заготовку (фиг. 33) относительно установленной на размер фрезы двумя базовыми отверстиями (на фигуре не показаны), расположенными на базовой нижней плоскости, на штифты, имеющиеся в установочном приспособлении, получаем лучшие результаты сравнительно с фиг. 28, 31 и 32.

При установке, показанной на фиг. 33, имеем $\varepsilon_a''' = \delta_{A'}$. Сверление по кондуктору базовых отверстий с последующим их развертыванием и изготовление установочных штифтов по высокому классу точности (2—2а) обеспечивают несравненно более жесткий допуск на размер A' сравнительно с размером A.

Таким образом $\delta_{A'} < \delta_A$ и $\varepsilon_a''' < \varepsilon_a''$, следовательно, размер a в этом случае выдерживается при всех прочих равных условиях с более жестким допуском, чем в предшествующем случае, т. е. $\delta_a''' < \delta_a''$.

При обработке плоскости в размер b по фиг 34 из размерной цепи получаем

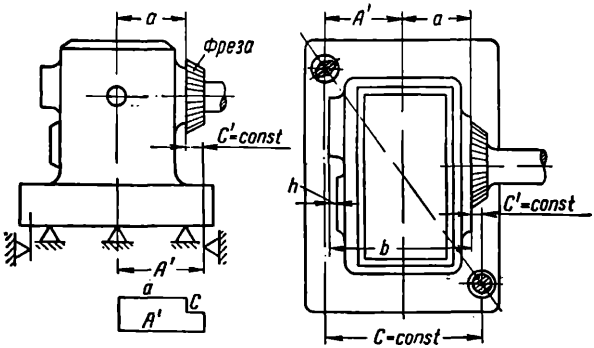
$$\varepsilon_b''' = \delta_{A'} + \delta_a$$

в связи с тем, что $\delta_{A'} < \delta_A$ и $\delta_a''' < \delta_a''$, $\varepsilon_b''' < \varepsilon_b''$ и, следовательно, $\delta_b''' < \delta_b''$.

При обработке плоскости в размер h (фиг. 35) имеем

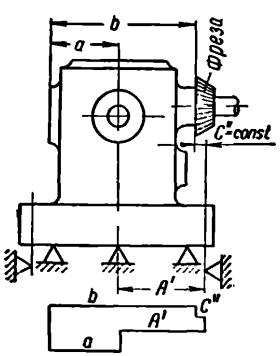
$$\varepsilon_h''' = \delta_{A'} + \delta_a + \delta_b$$

и, следовательно, $\varepsilon_h''' < \varepsilon_h''$.

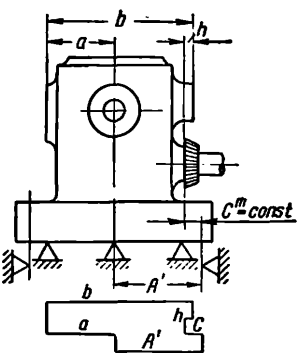


Фиг. 33. Обработка плоскости в размер a с базированием на нижнюю плоскость и имеющимися в ней базовыми отверстиями на два установочных штифта.

Во втором (фиг. 31 и 32) и третьем (фиг. 33) случае, применяя постоянные базы, получаем принципиально одинаковые зависимости,



Фиг 34. Обработка плоскости в размер b с базированием по фиг. 33.



Фиг. 35. Обработка плоскости в размер h с базированием по фиг. 33.

определяющие погрешности базирования; вместе с тем значения входящих в них величин меняются в соответствии с принятой принципиальной схемой установки.

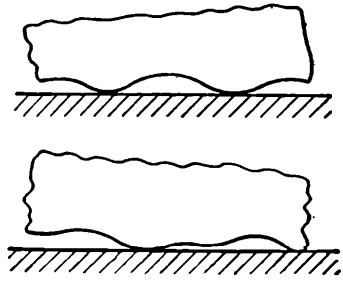
Каждая смена установочной базы в ходе технологического процесса вносит новые погрешности, зависящие от неточностей взаим-

ного расположения баз; поэтому целесообразно производить обработку от одной постоянной базы.

Принцип постоянства базы заключается в том, что во всех случаях стремятся выполнять технологические операции механической обработки при неизменной базе. При этом, анализируя различные схемы установки при постоянной базе выбирают из них такую, которая обеспечивает наименьшую погрешность базирования и более жесткие допуски выдерживаемых размеров.

Во всех случаях величина погрешности базирования может быть получена расчетом, исходя из геометрических связей, определяемых принципиальной схемой установки.

Обрабатываемая заготовка, как и каждое свободное твердое тело, имеет шесть степеней свободы: три прямолинейных перемещения в направлении взаимно-перпендикулярных осей координат и три угловых перемещения относительно тех же осей. Этим определяется выбор и взаимное расположение базирующих поверхностей; например, базирующие поверхности по фиг. 18 в совокупности с зажимными устройствами и действующей силой резания придают совершенно определенное и устойчивое положение заготовке относительно режущего инструмента.



Фиг. 36. Некоторые возможные случаи установки на поверхность с отклонением от плоскостности.

В связи с отклонениями базирующих поверхностей от правильных геометрических форм, особенно у черных и грубо обработанных заготовок, следует устанавливать заготовки на точечные опоры.

Так, при установке на плоские установочные базы в приспособление или на стол станка (фиг. 36) нескольких заготовок, базовые плоскости которых имеют грубые отклонения от плоскостности, не может быть достигнуто определенное и устойчивое положение заготовок. Так как плоскость определяется тремя точками, то установочные поверхности заготовок и приспособления или стола будут контактироваться в трех случайных точках, создавая неустойчивое и неопределенное положение заготовки.

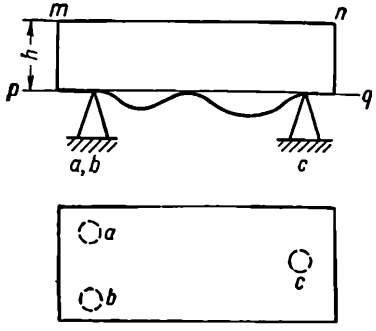
Установкой заготовки на три специально предусмотренные точечные опоры (установочные штифты), создается несравненно более определенное и более устойчивое ее положение (фиг. 37). В этом случае размер h при обработке плоскости mn будет выдерживаться от геометрической плоскости pq, определяемой тремя точечными опорами a, b и c.

Для повышения жесткости крепления пользуются подводимыми опорами типа малогабаритных домкратов, которые подводятся до соприкосновения с заготовкой только после того, как она

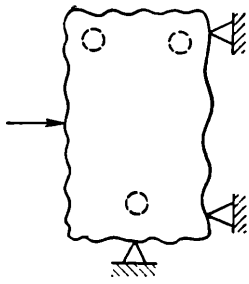
будет установлена на жесткие опоры и закреплена в этом положении [1].

Двух жестких опор достаточно для направления заготовки, т. е. для придания ей определенного положения в другой плоскости, так как направление линии определяется двумя точками; для устранения последней степени свободы требуется упор в виде одноточечной жесткой опоры (фиг. 38).

При базировании заготовки по точно обработанным поверхностям вместо опорных штифтов применяют, во избежание вмятин, опорные пластинки.



Фиг. 37. Установка заготовки на точечные опоры.



Фиг. 38. Направляющие заготовку опоры и дополнительная опора — упор.

Установочные штифты и пластинки значительно уменьшают влияние отклонений базирующих поверхностей от правильной геометрической формы на точность установки, но не исключают полностью этого влияния. При расчетах погрешностей базирования исходят из правильных геометрических форм базирующих поверхностей, что обусловливает не вполне точные результаты вычислений.

Погрешности выполнения приспособлений также вносят некоторую неточность в расчеты погрешностей базирования.

Принимая за установочные базы реальные поверхности заготовок, имеющие погрешности формы, в действительности производят установку заготовок по их геометрическим элементам. В частности, при установке на три штифта опорной базой является не реальная поверхность заготовки, а геометрическая плоскость, определяемая тремя точками — опорами; ориентируя заготовку по боковой поверхности, имеем в качестве направляющей базы не реальную плоскость, а линию, определяемую двумя точками направляющих штифтов; упор осуществляется не всей поверхностью, а точкой контакта поверхности с упором; устанавливая вал центровыми гнездами

[1] Конструкции подводимых и самоустанавливающихся опор рассматриваются в курсе «Основы конструирования приспособлений».

на центра, базируем заготовку по оси центровых гнезд; устанавливая зубчатое колесо впадинами зубьев на ролики приспособления для шлифования отверстия, мы базируем ее по делительной окружности; иначе говоря, при любой схеме базирования действительными установочными базами являются геометрические элементы, а не реальные поверхности заготовки, так же как измерительными базами являются геометрические элементы, а не реальные поверхности.

Выбранная за базу совокупность поверхностей должна быть обработана на первых операциях технологического процесса; при этом должно быть выдержано в возможной степени точное взаимное положение базирующих поверхностей.

Для обработки базирующих поверхностей за установочную базу приходится принимать необработанные поверхности, т. е. так называемую черную установочную базу.

За черную установочную базу могут быть выбраны поверхности заготовки либо вовсе не обрабатываемые, либо обрабатываемые в дальнейшем.

Выбранная черная база должна обеспечивать в возможной степени равномерное снятие припуска при последующей обработке поверхностей с базированием на обработанную установочную базу и наиболее точное взаимное положение обработанных и необработанных поверхностей детали.

Черные базирующие поверхности должны быть по возможности гладкими; они не должны иметь штамповочных и литейных уклонов; на них не следует размещать литники, прибыли и т. п.

В тех случаях, когда конфигурация заготовки исключает возможность выполнения требований, предъявляемых к черным базам, делают специальные приливы в отливках и прибыли в поковках, которыми пользуются в качестве базы на первых операциях технологического процесса. Приливы либо удаляются при последующей обработке, либо остаются у обработанной детали.

Таким образом, основные соображения, которыми целесообразно руководствоваться при выборе установочных баз для обработки заготовок, можно кратко сформулировать в следующем виде.

Во-первых, следует использовать в возможной степени принцип совмещения баз, т. е. в качестве установочной базы использовать поверхность, являющуюся измерительной базой. При этом необходимо учитывать, что лучшие результаты по точности будут достигнуты в случае, если установочной и измерительной базой служит сборочная база.

Как известно, сборочными базами называют поверхности, определяющие положение детали относительно других элементов в собранном изделии; например, центральное отверстие зубчатого колеса и плоскости прилегания корпуса передней бабки к станине токарного станка являются сборочными базами.

Учитывая взаимосвязь сборочной, измерительной и установочной баз, технолог при выборе баз и построении технологических процес-

сов производства деталей машин должен анализировать не только рабочие чертежи деталей, но и сборочные чертежи.

Конструктор также не должен упускать из поля зрения эту взаимосвязь и должен проектировать деталь с учетом возможности совмещения сборочной, измерительной и установочной баз при ее обработке.

Во-вторых, следует соблюдать по возможности принцип постоянства базы и в ходе обработки на всех основных технологических операциях использовать в качестве установочной базы одни и те же поверхности.

В-третьих, когда постоянство установочной базы не может быть обеспечено, в качестве новой установочной базы выбираются обязательно обработанные поверхности, обеспечивающие жесткость установки обрабатываемой заготовки; если при этом базирующая поверхность не является измерительной базой, производят поверочный расчет допуска на выдерживаемый размер, и в случае необходимости — пересчет допусков на размеры базирующих поверхностей, т. е. прибегают к технологическому ужесточению допусков на размеры этих поверхностей.

В-четвертых, установочная база должна обеспечивать жесткость установки заготовки, т. е. неизменность ее положения в процессе обработки; это достигается соответствующими размерами базирующих поверхностей и их взаимным расположением.

При обработке способом автоматического получения размеров черная установочная база может быть принята только для одной установки, так как повторное ее использование может в значительной степени нарушить взаимное расположение обрабатываемых поверхностей. Однако для заготовок, полученных точными методами литья и штамповки с последующей чеканкой — калибровкой это правило не является обязательным. Допустимо также, в исключительных случаях, повторное применение черной базы в том же или в однотипном приспособлении при одинаковом размещении его установочных элементов, обеспечивающих контакт с базирующими поверхностями заготовки в тех же точках, что и при первом ее применении и в случаях, не требующих высокой точности.

В ряде случаев конфигурация детали не позволяет выбрать удовлетворяющую требованиям установочную базу. Тогда прибегают к обработке поверхностей, предназначенных только для установки и не имеющих конструктивного назначения. Такие установочные базы называют искусственными.

Искусственными базами являются, например, центровые гнезда для обработки валов, выточка в юбке поршней, отверстия в подошвах корпусных деталей (см. фиг. 33).

Закрепление заготовки при установке производится в целях фиксации ее в положении, определяемом установочной базой, и обеспечения жесткости установки, необходимой для выполнения обработки.

При закреплении заготовки возможны ее упругие деформации, влияющие на точность обработки.

Соответствующим расположением опор и зажимных устройств в приспособлениях достигают в большинстве случаев снижения деформаций до столь незначительных величин, что ими можно пренебречь при расчетах погрешностей обработки. Однако в ряде случаев, особенно при закреплении нежестких деталей, деформации заготовок оказывают существенное влияние на точность обработки, главным образом на точность форм и пространственного положения обработанных поверхностей [1]

В процессе закрепления в результате действия зажимных сил возможно смещение заготовки из положения, определяемого установочными базами.

В местах контакта базирующих поверхностей с установочными элементами приспособлений вследствие деформации поверхностных неровностей и поверхностных слоев заготовок от действия зажимных усилий и сил тяжести происходит осадка заготовок.

Проф. А. П. Соколовский [48] экспериментально установил следующую зависимость деформации поверхностного слоя осадки) y и удельного давления:

$$y = cq^m,$$

где C — коэффициент, зависящий от материала и качества поверхности заготовки;

q — удельное давление в $кг/мм^2$;

m — показатель степени (определяется экспериментально).

Если бы деформация поверхностных слоев для всех обрабатываемых заготовок была одинакова, то ее можно было бы компенсировать при настройке на размер режущего инструмента от установочных элементов приспособлений. Однако в связи с неоднородностью качества поверхности у заготовок одной партии, и тем более у заготовок разных партий, внецентренного приложения нагрузки, волнистости поверхности и других дефектов и в результате нестабильности удельных давлений будем иметь для каждой заготовки колебание величины осадки.

Для определения суммарной погрешности установки необходимо учитывать величину смещения заготовки при закреплении. Допустим, что при настройке станка на обработку партии заготовок инструмент был установлен на размер H' при наименьшей деформации поверхностного слоя, т. е. при наименьшей осадке заготовки (фиг. 39).

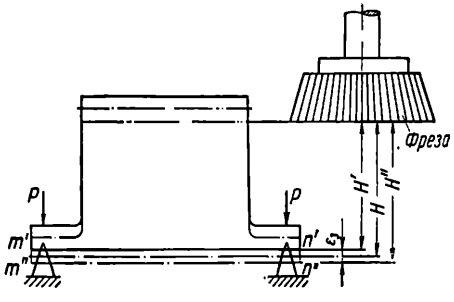
Номинальный размер H будет изменяться в пределах от H' до H'', так как при неизменном положении инструмента измерительная база смещается из положения m' n' в положение m'' n'';

[1] Деформации заготовок при их закреплении подробно рассматриваются в курсе «Основы конструирования приспособлений».

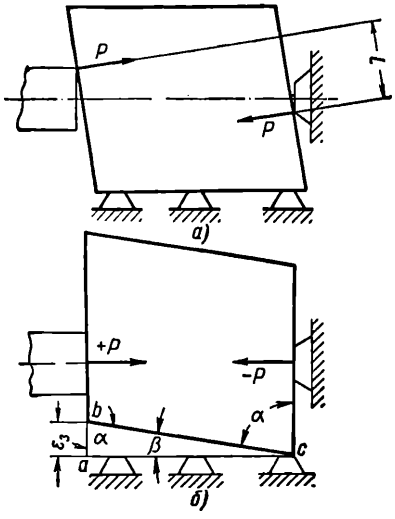
в связи со смещением измерительной базы выдерживаемый размер H будет дополнительно изменяться на величину погрешности закрепления $\varepsilon_з = H'' - H'$, определяемую разностью предельных расстояний измерительной базы от установленного на размер режущего инструмента.

Осадка заготовок вследствие деформации поверхностных слоев имеет место при направлении зажимной силы P перпендикулярно опорной базирующей поверхности.

Погрешность закрепления, зависящая от деформации поверхностных слоев, невелика и для заготовок размером до 500 *мм* не превышает 200 *мк*. При этом она имеет значение лишь при первой установке на данной установочной базе; дополнительное смятие поверхностных неровностей при повторном нагружении ничтожно мало и обычно не учитывается.



Фиг. 39. Осадка заготовки при закреплении силой P, направленной перпендикулярно к опорной базе.



Фиг 40 Поворот заготовки при закреплении силой P, направленной параллельно опорной базе:

а — начальное положение заготовки
б — конечное положение ее

Если сила зажима направлена параллельно опорной базирующей поверхности, то возможен при определенных условиях поворот закрепляемой заготовки. Вероятность выжимания заготовок в условиях применяемых штамповочных и формовочных уклонов весьма мала.

При закреплении заготовки, у которой опорная базирующая поверхность образует с боковой поверхностью угол α (фиг 40), сила зажима P, действующая по нормали к боковой поверхности, создает момент $M = Pl$, под воздействием которого заготовка поворачивается на угол $\beta = (90° - \alpha)$, после чего наступает ее статическое равновесие. Из треугольника abc имеем

$$ab = bc \cos \alpha,$$

или

$$\varepsilon_з = B \cos \alpha, \tag{9}$$

где $\varepsilon_з$ — погрешность закрепления вследствие поворота заготовки;
B — размер опорной базирующей поверхности в направлении зажимной силы;
α — угол, образуемый опорной базирующей и боковой поверхностями (пространственное отклонение поверхностей заготовки).

Для черных поверхностей можно принимать угол поворота $\beta = 1°$, для предварительно обработанных поверхностей $\beta = 0°40'$, для чисто обработанных $\beta = 0°20'$, для шлифованных $\beta = 0°04'$ [25].

Во избежание поворота заготовок при установке в приспособлениях с направлением зажимной силы параллельно опорной базирующей поверхности зажимные приспособления тисочного типа конструируют так, чтобы зажимная сила прижимала опорную базирующую поверхность к установочным элементам приспособления [1].

Осевые смещения заготовок, закрепляемых в зажимной гильзе (цанге), в патроне или на оправке, также зависят от шероховатости и макронеровностей поверхности, состояния поверхностного слоя и жесткости зажимных устройств.

Радиальные смещения заготовок, закрепляемых в цангах и патронах, определяются смещением оси заготовки относительно оси вращения и зависят главным образом от геометрических погрешностей формы закрепляемой поверхности и жесткости зажимных устройств. Эти погрешности установки, так же как и погрешность базирования, не увеличивают непосредственно отклонений по выдерживаемому диаметральному размеру, но вызывают пространственные отклонения во взаимном положении элементарных поверхностей заготовок и изготовленных деталей.

Работы в области определения деформаций поверхностных слоев и погрешностей закрепления заготовок нельзя считать законченными в такой степени, чтобы можно было рекомендовать определенный метод расчета их величин. Поэтому мы принуждены пользоваться практическими данными, представляющими собой некоторые средние значения погрешностей закрепления заготовок [2].

Таким образом, погрешность закрепления возникает под воздействием зажимных сил в результате смещения заготовки относительно установочных элементов приспособления и определяется так же, как и погрешность базирования, разностью предельных расстояний измерительной базы относительно установленного на размер режущего инструмента.

---

[1] Конструкции зажимных устройств рассматриваются в курсе «Основы конструирования приспособлений»

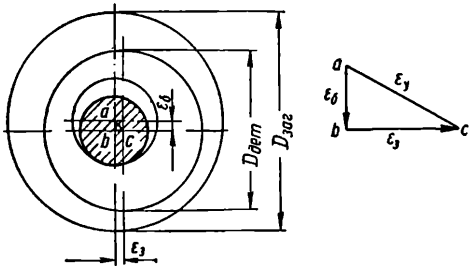
[2] См. приложение 1

Погрешность установки заготовок для обработки на станках, которую обозначим через ε_y, определяется суммарным значением погрешности базирования $\varepsilon_б$ и погрешности закрепления $\varepsilon_з$. При обработке плоскостных заготовок и торцовых поверхностей тел вращения погрешность базирования и погрешность закрепления являются коллинеарными векторами, лежащими на одной прямой, и суммируются арифметически:

$$\varepsilon_y = \varepsilon_б + \varepsilon_з. \qquad (10)$$

При обработке поверхностей вращения векторы погрешности базирования и погрешности закрепления могут иметь любое угловое взаимное положение. В этих случаях погрешность установки определяется геометрически, как векторная сумма погрешности базирования и погрешности закрепления; при этом наиболее вероятное значение погрешности установки определяется суммированием по правилу квадратного корня:

$$\varepsilon_y = \sqrt{\varepsilon_б^2 + \varepsilon_з^2} \qquad (11)$$



Фиг. 41. Установка с базированием по цилиндрическому отверстию на жесткую оправку при свободной посадке и закреплением оправки в самоцентрирующем патроне.

Для примера на фиг. 41 показана установка с базированием отверстием на жесткую оправку при свободной посадке; в этом случае имеем погрешность базирования $\varepsilon_б$, а при закреплении оправки в самоцентрирующем патроне — погрешность закрепления $\varepsilon_з$. Погрешность установки в данном случае определяется по формуле (11).

Указанные на чертежах расчетные размеры, вытекающие из конструктивных связей, в ряде случаев не соответствуют геометрическим связям, вытекающим из принятого построения технологического процесса, и неудобны для выполнения промеров на обрабатываемых заготовках. По технологическим соображениям приходится иногда изменять принятые конструктором измерительные базы. В этих случаях, а также при перемене установочных баз в процессе обработки необходимо производить пересчет размеров на базе геометрического анализа связей между конструктивными размерами и принятыми базами.

Рассмотрим в виде примера чертеж распределительного валика (фиг. 42). Для условий эксплуатации важно, чтобы при изготовлении валика были выдержаны размеры l_1, l_2 и L; при этом размер L задан с жестким допуском. Непосредственное измерение размера L в производственных условиях осуществить не представляется возможным.

Непосредственные измерения можно производить либо по размеру x', либо по размеру x'' Определяя один из этих размеров, технолог должен задать на него допуск, обеспечивающий соблюдение заданного конструктором допуска по размеру L.

Исходя из этого условия, задачу можно решить следующим образом.

1. Если технолог решил вместо размера L задать размер x', то

$$\delta_L = L_{max} - L_{min};$$

$$L_{max} = \frac{l_{1max}}{2} + x'_{max} + \frac{l_{2max}}{2};$$

$$L_{min} = \frac{l_{1min}}{2} + x'_{min} + \frac{l_{2min}}{2};$$

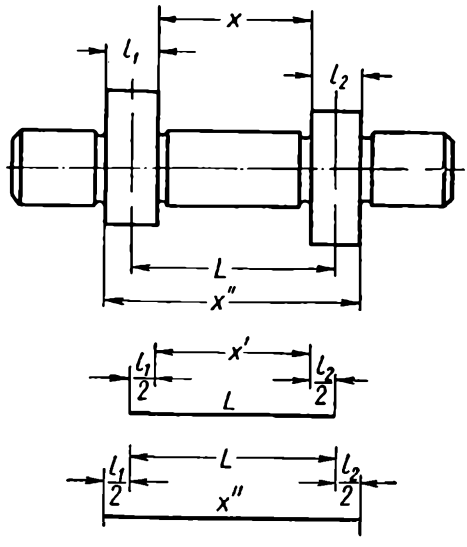
$$\delta_L = \frac{\delta_{l_1}}{2} + \delta_{x'} + \frac{\delta_{l_2}}{2}$$

или

$$\delta_L = \delta_{x'} + \frac{\delta_{l_1} + \delta_{l_2}}{2},$$

откуда имеем

$$\delta_{x'} = \delta_L - \frac{\delta_{l_1} + \delta_{l_2}}{2}$$



Фиг. 42. К расчету допусков на технологические размеры.

2. Если вместо размера L задать размер x'', то

$$L_{max} = x''_{max} - \frac{l_{1min}}{2} - \frac{l_{2min}}{2};$$

$$L_{min} = x''_{min} - \frac{l_{1max}}{2} - \frac{l_{2max}}{2};$$

$$\delta_L = \delta_{x''} + \frac{\delta_{l_1}}{2} + \frac{\delta_{l_2}}{2} = \delta_{x''} + \frac{\delta_{l_1} + \delta_{l_2}}{2},$$

откуда получаем

$$\delta_{x''} = \delta_L - \frac{\delta_{l_1} + \delta_{l_2}}{2},$$

т. е. тот же результат, что и в первом случае.

Таким образом, в общем виде, исходя из основного уравнения размерных цепей, имеем

$$\delta_L = \sum_{i=1}^{m-1} \delta_i$$

или

$$\delta_L = \delta_x + \sum_{i=1}^{m-2} \delta_i,$$

откуда

$$\delta_x = \delta_L - \sum_{i=1}^{m-2} \delta_i \dots , \qquad (12)$$

где δ_x — допуск на искомый размер;
δ_L — допуск на заменяемый размер;
δ_i — допуски на размеры остальных звеньев цепи;
m — общее количество всех звеньев размерной цепи, включая искомый и заменяемый размеры.

При обработке способом индивидуального получения заданных размеров заготовку устанавливают с выверкой относительно рабочих элементов станка, а рабочий инструмент устанавливают на размер индивидуально для каждой заготовки путем пробных проходов и промеров.

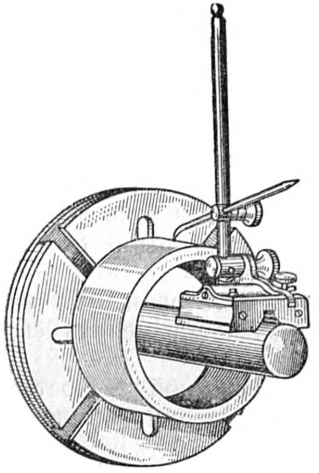
Следует при этом заметить, что в ряде случаев установка производится без выверки. В частности, при установке зацентрованной заготовки в центрах токарного станка выверка не производится, так как она не может изменить положения заготовки; исключается выверка каждой заготовки по высоте при установке ее обработанной поверхностью на стол фрезерного станка. Выверка положения заготовки производится либо непосредственно по обрабатываемой поверхности, либо по разметочным рискам.

На фиг. 43 показана схема выверки по черной поверхности рейсмасом. Выверка по разметочным рискам корпусной детали (фиг. 44) производится от стола станка рейсмасом, при помощи которого обрабатываемая поверхность устанавливается параллельно поверхности стола. Иногда для этого пользуются линейкой и уровнем, при помощи которых обрабатываемой поверхности придают горизонтальное положение; для выверки очень крупных деталей применяют оптические методы.

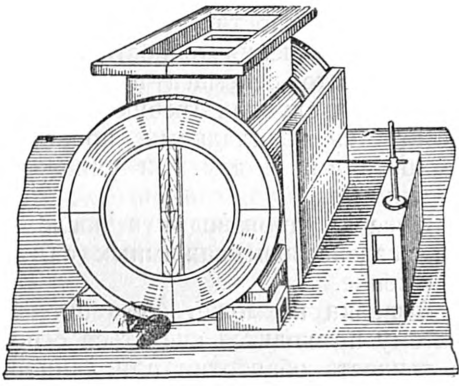
Заготовки, обрабатываемые способом индивидуального получения заданных размеров, обычно подвергают предварительной разметке, т. е. на заготовке прочерчивают линии, указывающие границы поверхностей, до которых должна быть произведена обработка. Для прочерчивания на заготовке этих линий требуется предварительно нанести на нее оси симметрии, главные центровые оси, а также ряд вспомогательных и контрольных рисок. Большое значение имеет при разметке выбор исходных поверхностей, от которых выдерживается положение наносимых при разметке рисок. Для этого могут быть использованы в той или иной степени соображения о базировании заготовок при обработке их на станках.[1]

[1] Практические приемы разметки должны быть хорошо усвоены студентом в процессе учебной практики (в учебных мастерских) по курсу технологии металлов, поэтому здесь вопросы разметки не развиваются.

В ряде случаев применяют повторные разметки. В частности, после обработки измерительных баз производят разметку координированных с ними поверхностей; перед чистовой обработкой производят повторную разметку заготовок, деформированных в результате старения и т. д. От точности разметки в значительной степени зависит точность выдерживаемых при обработке размеров. В ряде случаев умело выполненной разметкой можно предотвратить брак



Фиг 43. Выверка заготовки по черной поверхности вращения рейсмасом.



Фиг. 44. Выверка заготовки на столе станка по разметочным рискам.

дефектной заготовки путем соответствующего распределения имеющихся на ней припусков на обработку.

В единичном производстве разметка применяется в целях: а) проверки пригодности заготовок для обработки; б) выверки заготовки при установке ее на станке для обработки; в) указания границ поверхностей, до которых должна быть произведена обработка; г) нанесения рисок для установки накладных кондукторов; д) контроля обработанных сложных деталей машин.

В серийном производстве применяют разметку в целях: а) проверки пригодности сложных заготовок для обработки; б) регулировки приспособлений на данную партию литья; в) нанесения рисок для установки заготовок в приспособлениях упрощенного типа и для определения положения накладных кондукторов; г) выверки крупногабаритных отливок для исключения необходимости применения сложных и тяжелых приспособлений.

В крупносерийном и массовом производстве применение разметки не оправдывается, так как в этих случаях оказывается целесообразным применение специальных установочных приспособлений, не тре-

бующих выверки заготовок при их установке для обработки на станках.

Выверка заготовки по разметочным рискам производится обычно рейсмасом, игла которого при перемещении рейсмаса по столу станка или выверенной подкладке не должна отклоняться от разметочной риски, проходя через середину ее керновых углублений (см. фиг. 44).

Выверка может быть также произведена по обработанным на предшествующих операциях поверхностям; в этом случае рейсмас направляется либо по оставшимся после обработки половинам керновых углублений, либо его загнутой иглой непосредственно по обработанной поверхности.

Для повышения точности при выверке по обработанной поверхности вместо рейсмаса применяют штангенрейсмас.

Во всех случаях требующееся положение выверяемой заготовки достигается подкладками, простыми и сдвоенными клиньями или домкратиками и другими универсальными установочными приспособлениями.

Выверку производят и после закрепления заготовки, так как под воздействием зажимных сил заготовка может изменять свое положение.

Выверка не может быть произведена с абсолютной точностью, поэтому приходится считаться с погрешностью выверки, влияющей на точность обработки при данной установке [1].

Разметка и установка заготовок с выверкой являются операциями трудоемкими и требующими высокой квалификации исполнителей. Применение приспособлений при обработке способом автоматического получения размеров на предварительно настроенных станках обеспечивает определенное положение заготовок без выверки, сокращает во много раз время, затрачиваемое на установку, и не требует больших производственных навыков от исполнителей. В этом заключаются значительные преимущества установки заготовок в приспособлениях. Однако применение специальных приспособлений экономически оправдывается только при определенной, более или менее значительной производственной программе, а в условиях единичного производства вполне оправдывается с экономической точки зрения разметка и установка заготовок с выверкой.

§ 3. РАСЧЕТ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ДОПУСКОВ ПРИ ОБРАБОТКЕ СПОСОБОМ АВТОМАТИЧЕСКОГО ПОЛУЧЕНИЯ РАЗМЕРОВ

Понятие о жесткости технологической системы станок-заготовка-инструмент. Расчет жесткости технологической системы. Расчет податливости и отжатий технологической системы. Определение максимального и минимального значения составляющей силы резания по нормали к обрабатываемой поверхности. Колебание выдерживаемых размеров заготовок как результат нестабильности силы резания и отжатий элементов технологической системы.

[1] Величины погрешности установки с выверкой см. в приложении 2

Копирование и закономерное уменьшение погрешностей при обработке на металлорежущих станках. Погрешности, остающиеся постоянными в партии обработанных заготовок. Влияние геометрических погрешностей станка на точность формы обработанной заготовки. Влияние погрешности настройки станка на выдерживаемый размер. Погрешности, закономерно изменяющие свое значение в партии обработанных заготовок. Размерный износ инструмента. Влияние температурных деформаций элементов технологической системы на выдерживаемый размер.

Расчет результативной погрешности обработки.

Соображения об округлении расчетных значений технологических допусков. Допуски на размеры черных заготовок. Пространственные отклонения взаимосвязанных элементов заготовок и деталей машин.

А. Расчеты жесткости, податливости и отжатий технологической системы станок — заготовка — инструмент

При обработке на металлорежущих станках заготовок станок, установочное приспособление, обрабатываемая заготовка, режущий инструмент и несущие его элементы (державки, оправки, расточные скалки и т. п.) представляют собой упругую систему, которую для краткости будем называть упругой системой станок — заготовка — инструмент.

В процессе обработки сила резания изменяется под влиянием переменных условий обработки. В частности, к изменению силы резания приводят колебания размеров заготовок и, следовательно, неравномерность глубины резания; колебания механических свойств материала заготовок; притупление вследствие износа и изменение в связи с этим геометрических параметров режущего лезвия в процессе обработки и другие технологические факторы.

Сила резания при обработке в условиях упругой системы станок — заготовка — инструмент вызывает упругие деформации, а также смещение элементов системы за счет зазоров в их сочленениях. Величина упругих деформаций и отжатий зависит как от силы резания, так и от жесткости упругой системы, т. е. ее способности противостоять действующей силе. Нестабильность силы резания вызывает неравномерность деформаций и отжатий элементов упругой системы, в результате чего возникают погрешности формы обработанной поверхности и, следовательно, колебания ее размеров. Таким образом, точность обработки зависит от жесткости упругой системы станок — заготовка — инструмент.

Жесткость, как известно, определяется отношением действующей силы к величине деформации, вызываемой этой силой.

С точки зрения точности обработки наиболее существенное значение имеют колебания величины составляющей силы резания, направленной по нормали к обрабатываемой поверхности.

Под жесткостью упругой системы станок — заготовка — инструмент понимают отношение этой составляющей силы резания к смещению лезвия инструмента, установленного на размер в направле-

нии нормали к обрабатываемой поверхности. Таким образом, жесткость системы (j) равна:

$$j = \frac{P_y}{Y} \text{ кг/мм}, \qquad (13)$$

где P_y — составляющая силы резания, направленная по нормали к обрабатываемой поверхности, в *кг*;

Y — вызываемое силой P_y отжатие элементов системы в *мм*.

Жесткость может быть выражена также отношением приращения силы резания ΔP_y к приращению отжатия ΔY:

$$j = \frac{\Delta P_y}{\Delta Y}$$

Части станка не только деформируются, но одновременно изменяется их взаимное положение вследствие наличия зазоров и упругости стыков, поэтому жесткость узлов не рассчитывается, а определяется экспериментально.

Как показали исследования, жесткость узлов станка изменяется при одновременном действии составляющих силы резания P_y и P_z сравнительно с жесткостью, измеренной под воздействием только радиальной составляющей силы резания P_y. В ряде случаев на жесткость узлов оказывает влияние также составляющая силы резания P_x. Поэтому более точные данные получаем при определении жесткости или податливости в процессе резания, когда на результаты измерения влияют все три составляющих силы резания.

Опыты проф. А. П. Соколовского [49] показали, что жесткость суппорта токарного станка при одновременном действии составляющих силы резания P_y и P_z значительно выше, чем при действии только радиально составляющей силы резания P_y. Влияние составляющей силы резания P_z на жесткость передней и задней бабок может быть иным. При нагружении бабок составляющая силы резания P_z обычно уменьшает жесткость.

Отжатия узлов станков, кроме того, зависят от нагрузки; в частности, отжатия системы зависят от передаваемого шпинделем крутящего момента, производными которого являются прогиб шпинделя, смещение обрабатываемой заготовки на центре и перемещение центра в гнезде шпинделя вследствие одностороннего действия поводка.

Для определения жесткости узла станка производят ряд нагружений, возрастающих от нуля до некоторой наибольшей величины, в зависимости от размеров станка; для каждой нагрузки измеряется отжатие испытуемого узла в направлении нормали к обрабатываемой поверхности. Затем производят разгружение узла, фиксируя остаточные отжатия; при нагружении и разгружении строятся зависимости

$$Y = f(P_y);$$

при этом нагрузочная и разгрузочная ветви характеристики жесткости обычно не совпадают, т. е. в результате рассеивания энергии за один цикл нагружения и разгружения имеет место гистерезис (фиг. 45); на основе полученных данных определяется жесткость узла.

Жесткость станка определяется расчетом на основе экспериментально полученных величин жесткости его узлов. В частности, определение жесткости токарного станка при обработке вала в центрах производится на основе следующих соображений.

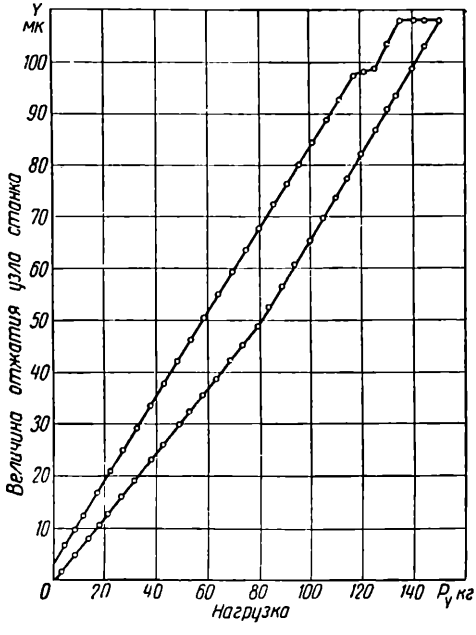
Под воздействием составляющей силы резания P_y, приложенной в любой точке пролета (фиг. 46), передняя бабка переместится из положения A в положение A' на величину отжатия $Y_{пб}$, задняя бабка — из положения B в положение B' на величину $Y_{з.б}$, суппорт — из положения C в положение C' на величину $Y_{суп}$ и ось вращения заготовки — из положения AB в положение $A'B'$ В сечении x ось сместится на величину Y_x; при этом

$$Y_x = Y_{пб} + K;$$

$$Y_{пб} = \frac{P_A}{j_{пб}}; \quad Y_{зб} = \frac{P_B}{j_{зб}};$$

$$P_A = P_y \cdot \frac{l-x}{l};$$

$$P_B = P_y \frac{x}{l},$$



Фиг. 45. Нагрузочная и разгрузочная ветви характеристики отжатий узла (задней бабки) токарного станка.

где P_A и P_B — давления на переднюю и заднюю бабки, вызываемые составляющей силы резания P_y.

Подставляя значения P_A и P_B, получаем

$$Y_{пб} = \frac{P_y}{j_{пб}} \cdot \frac{l-x}{l}; \quad Y_{зб} = \frac{P_y}{j_{зб}} \cdot \frac{x}{l}$$

Значение K определяем из треугольника $A'B'A''$:

$$\frac{K}{Y_{зб} - Y_{пб}} = \frac{x}{l},$$

откуда

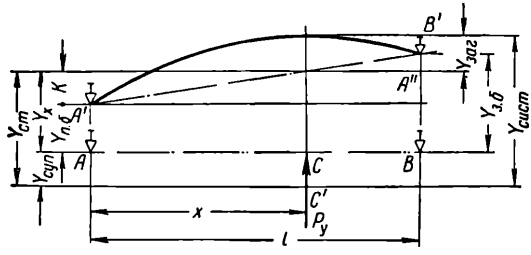
$$K = (Y_{зб} - Y_{пб}) \cdot \frac{x}{l},$$

следовательно,

$$Y_x = Y_{пб} + (Y_{зб} - Y_{пб}) \cdot \frac{x}{l}.$$

После соответствующих подстановок и преобразований получаем

$$Y_x = \frac{P_y}{j_{пб}} \cdot \left(\frac{l-x}{l}\right)^2 + \frac{P_y}{j_{зб}} \cdot \left(\frac{x}{l}\right)^2$$



Фиг. 46. К расчету отжатий упругой системы станок — заготовка.

Обозначив через $Y_{см}$ суммарное отжатие узлов станка при любом положении резца вдоль оси заготовки, имеем по фиг. 46

$$Y_{см} = Y_{суп} + Y_x,$$

где

$$Y_{суп} = \frac{P_y}{j_{суп}}.$$

Подставляя значения $Y_{суп}$ и Y_x, получим

$$Y_{см} = \frac{P_y}{j_{суп}} + \frac{P_y}{j_{пб}} \cdot \left(\frac{l-x}{l}\right)^2 + \frac{P_y}{j_{зб}} \cdot \left(\frac{x}{l}\right)^2$$

или

$$Y_{см} = P_y \left[\frac{1}{j_{суп}} + \frac{1}{j_{пб}} \cdot \left(\frac{l-x}{l}\right)^2 + \frac{1}{j_{зб}} \cdot \left(\frac{x}{l}\right)^2\right]. \qquad (14)$$

Жесткость станка $j_{см}$ при этом определяется следующим выражением:

$$j_{см} = \frac{P_y}{Y_{см}} = \frac{1}{\frac{1}{j_{суп}} + \frac{1}{j_{пб}} \left(\frac{l-x}{l}\right)^2 + \frac{1}{j_{зб}} \cdot \left(\frac{x}{l}\right)^2}. \qquad (15)$$

Применение формулы (15) для расчета жесткости станка сопряжено с неудобствами вследствие сложности вычислений. Подтвердим это примером. Допустим, что $j_{суп} = 2780$ *кг/мм*, $j_{пб} = 3850$ *кг/мм*

и $j_{зб} = 2940$ *кг/мм*; тогда, в частности, для положения резца при $x = 0{,}7l$ получим по формуле (15)

$$j_{ст} = \frac{1}{\frac{1}{2780} + \frac{1}{3850}\cdot\left(\frac{l-0{,}7\,l}{l}\right)^2 + \frac{1}{2940}\cdot\left(\frac{0{,}7\,l}{l}\right)^2} =$$

$$= \frac{1}{\frac{1}{2780} + \frac{0{,}09}{3850} + \frac{0{,}49}{2940}} = \frac{1}{0{,}00036 + 0{,}000023 + 0{,}000167} =$$

$$= \frac{1}{0{,}00055} = 1818 \text{ кг/мм}.$$

В технологических расчетах удобнее пользоваться величиной, обратной жесткости; эту величину называют п о д а т л и в о с т ь ю (W). Податливость

$$W = \frac{1}{l} \text{ мм/кг},$$

или

$$W = \frac{1000}{j} \text{ мк/кг}. \qquad (16)$$

Однако, определяя податливость через жесткость, почти не удается упростить расчет:

$$\frac{1}{j_{ст}} = \frac{1}{j_{суп}} + \frac{1}{j_{пб}}\cdot\left(\frac{l-x}{l}\right)^2 + \frac{1}{j_{зб}}\cdot\left(\frac{x}{l}\right)^2 \qquad (17)$$

Легко видеть, что и такой вид формулы не устраняет неудобств расчета при определении жесткости станка. Для рассматриваемого примера

$$\frac{1}{j_{ст}} = 0{,}00055 \text{ мм/кг},$$

откуда

$$j_{ст} = \frac{1}{0{,}00055} = 1818 \text{ кг/мм}.$$

При замене жесткости податливостью формула (17) принимает вид

$$W_{ст} = W_{суп} + W_{пб}\left(\frac{l-x}{l}\right)^2 + W_{зб}\left(\frac{x}{l}\right)^2, \qquad (18)$$

что значительно упрощает расчеты.

Для взятого нами примера получаем:

$$W_{суп} = \frac{1000}{2780} = 0{,}36 \text{ мк/кг};$$

$$W_{пб} = \frac{1000}{3850} = 0{,}26 \text{ мк/кг};$$

$$W_{зб} = \frac{1000}{2940} = 0{,}34 \text{ мк/кг};$$

$$W_{ст} = 0{,}36 + 0{,}26 \cdot 0{,}09 + 0{,}34 \cdot 0{,}49 = 0{,}55 \text{ мк/кг}.$$

Для определения податливости нет необходимости пересчитывать ее по предварительно установленной жесткости. Податливость элементов станка может быть определена экспериментальным путем непосредственно. Для этого строится та же зависимость (фиг. 45):

$$Y = f(P_y).$$

Податливость определяется по формуле

$$W = \frac{Y}{P_y}. \tag{19}$$

Из формулы (19) получаем

$$Y = P_y W. \tag{20}$$

Определяя отжатие узлов станка по его суммарной податливости, получаем

$$Y_{ст} = P_y \cdot W_{ст};$$

подставляя значение W по формуле (18), получим

$$Y_{ст} = P_y \left| W_{суп} + W_{пб} \left(\frac{l - x}{l} \right)^2 + W_{зб} \left(\frac{x}{l} \right)^2 \right|. \tag{21}$$

Точность диаметральных размеров гладкого вала, установленного в центрах, связана с его прогибом от действия сил резания.

Прогиб обрабатываемой заготовки $Y_{заг}$ при любом положении резца вдоль ее оси (см. фиг. 47) определяется по известной из сопротивления материалов формуле:

$$Y_{заг} = \frac{P_y}{3EJ} \cdot \frac{(l - x)^2 x^2}{l}.$$

Податливость обрабатываемой заготовки

$$W_{заг} = \frac{Y_{заг}}{P_y} = \frac{1}{3EJ} \cdot \frac{(l - x)^2 x^2}{l};$$

в этих формулах:

E — модуль упругости в *кг/мм*^{2};

J — момент инерции в *мм*^{4}; для сплошного круглого сечения

$$J = \frac{\pi d^4}{64};$$

l и d — соответственно длина и диаметр обрабатываемой заготовки в *мм*.

Так как податливость узлов станка выражается в *мк/кг*, то прогиб заготовки должен быть выражен в *мк*, а податливость заготовки — в *мк/кг*, поэтому

$$Y_{заг} = \frac{1000 P_y}{3EJ} \cdot \frac{(l-x)^2 x^2}{l} \quad (22)$$

и

$$W_{заг} = \frac{1000}{3EJ} \cdot \frac{(l-x)^2 x^2}{l}. \quad (23)$$

При консольном креплении гладкого вала получим прогиб

$$Y_{заг} = \frac{1000 P_y l^3}{3EJ}; \quad (24)$$

после соответствующих преобразований получаем для гладкого стального вала

$$Y_{заг} \approx \frac{P_y}{3d} \cdot \left(\frac{l}{d}\right)^3 \quad (25)$$

где P_y — составляющая силы резания по нормали к обрабатываемой поверхности в *кг*;

l и d — соответственно длина и диаметр вала в *мм*;

Податливость заготовки вала получаем по формуле:

$$W_{заг} \approx \frac{1}{3d} \cdot \left(\frac{l}{d}\right)^3 \text{ мк/кг}. \quad (26)$$

Податливость станка при консольном креплении заготовки складывается из податливости суппорта и податливости передней бабки с цанговым зажимом или патроном; последняя определяется при зажиме весьма жесткой оправки и нагружении ее на различных расстояниях от переднего торца шпинделя.

При обтачивании наружной поверхности прогиб резца вызывает перемещение его вершины по касательной к обрабатываемой поверхности и незначительно отражается на погрешности обработки сравнительно с отжатиями станка и прогибом заготовки. Поэтому в данном случае при определении податливости и отжатий упругой системы станок — заготовка — инструмент деформацией резца можно

пренебречь и ограничиться определением податливости и отжатий упругой системы станок — заготовка.

При растачивании, наоборот, деформации консольно закрепленного режущего инструмента и расточных скалок весьма существенно влияют на погрешность обработки, а податливостью заготовки можно в ряде случаев пренебречь и ограничиться определением податливости системы станок — инструмент.

Таким образом, в рассматриваемом случае (обтачивание вала в центрах)

$$Y_{сист} = Y_{ст} + Y_{заг};$$
$$W_{сист} = W_{ст} + W_{заг}.$$

Из формул (21) и (22) видно, что отжатия станка и прогиб заготовки изменяются по мере перемещения резца вдоль оси обрабатываемой заготовки и, следовательно, при определенных положениях резца достигают своих максимумов и минимумов.

При этом нужно определить, где суммарное отжатие $Y_{сист}$ будет максимальным и где минимальным, т. е. в каких сечениях по длине заготовки погрешности размера будут наибольшими.

Найдем положение точек максимума и минимума отжатий по длине заготовки, считая станок абсолютно жестким.

Известно, что максимальный прогиб заготовки образуется при положении резца в середине пролета; в самом деле, определяя производную функции,

$$Y_{заг} = \frac{1000\,P_y}{3\,EJ} \cdot \frac{(l-x)^2\,x^2}{l},$$

имеем

$$\frac{dY_{заг}}{dx} = \frac{1000\,P_y}{3\,EJl}\,[(l-x)^2\,2\,x + x^2 \quad 2\,(l-x)\,(-1)] = 0;$$

после преобразований получаем

$$\frac{dY_{заг}}{dx} = \frac{2\cdot 1000\,P_y}{3EJl}\,(2x^3 - 3x^2l + xl^2) = 0.$$

Так как первый член не может быть равен нулю, то

$$x\,(2x^2 - 3xl + l^2) = 0$$

или

$$2x^2 - 3xl + l^2 = 0;$$

подстановкой $2 = a$; $-3l = b$; $l^2 = c$ приводим это квадратное уравнение к виду

$$ax^2 + bx + c = 0,$$

откуда

$$x = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} = \frac{-(-3l) \pm \sqrt{(-3l)^2 - 4\quad 2l^2}}{2\cdot 2}$$

$$x = \frac{3l \pm \sqrt{9l^2 - 8l^2}}{4} = \frac{3l \pm \sqrt{l^2}}{4} = \frac{3l \pm l}{4}$$

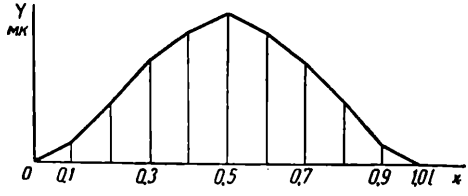
$$x_1 = \frac{4l}{4} = l; \qquad x_2 = \frac{2l}{4} = \frac{1}{2}\,l$$

Определяем знак второй производной

$$\frac{d^2Y_{заг}}{dx^2} = \frac{2 \cdot 1000\, P_y}{3EJl}(2 \cdot 3x^2 - 3l \cdot 2x + l^2)$$

при $x = l$

$$\frac{d^2Y_{заг}}{dx^2} = \frac{2 \cdot 1000 \cdot P_y}{3EJl}(6\, l^2 - 6l^2 + l^2) = \frac{2 \cdot 1000 \cdot P_y}{3EJ} l,$$



Фиг. 47. Кривая прогиба заготовки гладкого вала, обрабатываемой в центрах токарного станка.

т. е. при $x = l$, также как и при $x = 0$, вторая производная имеет положительное значение (знак плюс); следовательно, при $x = l$ и $x = 0$ прогиб заготовки будет минимальным ($Y_{заг} = 0$);

при $x = \frac{1}{2} l$ (27)

$$\frac{d^2Y_{заг}}{dx^2} = \frac{2 \cdot 1000 \cdot P_y}{3EJl}\left(6\frac{l^2}{4} - 6\frac{l^2}{2} + l^2\right) =$$

$$= \frac{2 \cdot 1000 \cdot P_y}{3EJl}\left(\frac{3l^2 - 6l^2 + 2l^2}{2}\right)$$

или

$$\frac{d^2Y_{заг}}{dx^2} = \frac{2 \cdot 1000 \cdot P_y}{3EJl}\left(-\frac{l^2}{2}\right) = -\frac{1000 \cdot P_y}{3EJ} l,$$

т. е. при $x = \frac{1}{2} l$ вторая производная имеет отрицательное значение (знак минус); следовательно, при $x = \frac{1}{2} l$ заготовка будет иметь максимальный прогиб. Таким образом,

$$Y_{заг_{max}} = \frac{1000\, P_y}{3EJ} \cdot \frac{(l-x)^2 x^2}{l} = \frac{1000\, P_y}{3EJl} \cdot \frac{l^2}{4} \cdot \frac{l^2}{4} = \frac{1000\, P_y l^3}{48EJ}.$$

Прогиб заготовки возрастает от нуля у передней бабки до максимума при $x = 0{,}5l$ и затем симметрично убывает от максимума до нуля у задней бабки (фиг. 47).

Чтобы найти положение резца, при котором получаются максимальное или минимальное значения суммарного отжатия узлов станка при абсолютно жесткой заготовке, определяем производную функции

$$Y_{cm} = P_y\left[W_{cyn} + W_{nб}\left(\frac{l-x}{l}\right)^2 + W_{зб}\left(\frac{x}{l}\right)^2\right]$$

$$\frac{dY_{cm}}{dx} = P_y\left(W_{nб}\frac{2(l-x)(-1)}{l^2} + W_{зб}\frac{2x}{l^2}\right) =$$

$$= \frac{2P_y}{l^2}(W_{nб}\cdot(x-l) + W_{зб}x) = 0.$$

Приравнивая второй член нулю, имеем

$$W_{nб}x - W_{nб}l + W_{зб}x = 0,$$

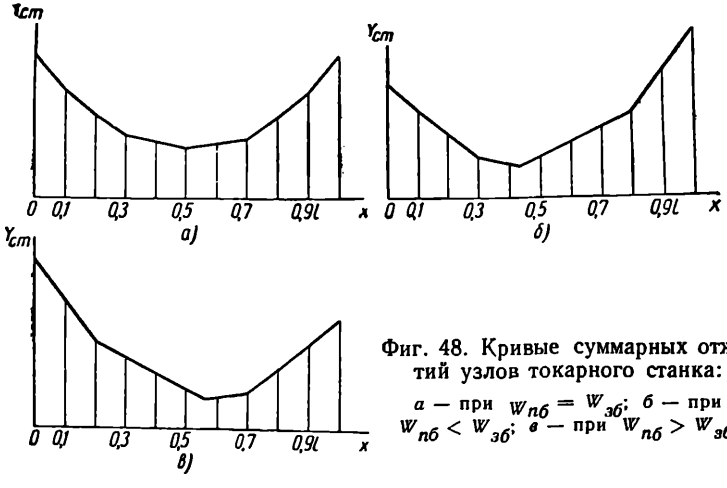
откуда

$$x_{cm} = \frac{W_{nб}}{W_{nб} + W_{зб}}\,l. \qquad (28)$$

Вторая производная этой функции

$$\frac{d^2Y_{cm}}{dx^2} = \frac{2P_y}{l^2}(W_{nб} + W_{зб})$$

имеет положительное значение; следовательно, при найденном значении x_{cm} суммарное отжатие узлов станка достигает минимума.



Фиг. 48. Кривые суммарных отжатий узлов токарного станка:
а — при $W_{nб} = W_{зб}$; *б* — при $W_{nб} < W_{зб}$; *в* — при $W_{nб} > W_{зб}$.

Максимальное суммарное отжатие узлов станка будет у бабки, имеющей наибольшую податливость (фиг. 48).

Найдем положения резца, которым соответствуют максимальные и минимальные суммарные отжатия с учетом податливости узлов станка и прогиба заготовки.

Используя значения $Y_{ст}$ по формуле (21) и $Y_{заг}$ по формуле (22), находим

$$Y_{сист} = P_y\left[W_{суп} + W_{пб}\left(\frac{l-x}{l}\right)^2 + W_{зб}\left(\frac{x}{l}\right)^2 + \frac{1000}{3EJ}\cdot\frac{(l-x)^2x^2}{l}\right]. \quad (29)$$

Чтобы найти положение резца, при котором получим максимальное или минимальное отжатие упругой системы станок—заготовка, определяем производную этой функции:

$$\frac{dY_{сист}}{dx} = P_y\left[W_{пб}\frac{2(l-x)(-1)}{l^2} + W_{зб}\frac{2x}{l^2} + \frac{1000}{3EJ}\times\right.$$

$$\left.\times\frac{2x(l-x)^2 + 2x^2(l+x)(-1)}{l}\right];$$

после преобразований получаем

$$\frac{dY_{сист}}{dx} = \frac{2P_y}{l}\left[\frac{2\cdot1000}{3EJ}x^3 - \frac{1000l}{EJ}x^2 + \right.$$

$$\left. + \left(\frac{1000l^2}{3EJ} + \frac{W_{пб}}{l} + \frac{W_{зб}}{l}\right)x - W_{пб}\right].$$

Приравнивая второй член нулю, получаем кубическое уравнение вида

$$\frac{2\cdot1000}{3EJ}x^3 - \frac{1000l}{EJ}x^2 + \left(\frac{1000l^2}{3EJ} + \frac{W_{пб}}{l} + \frac{W_{зб}}{l}\right)x - W_{зб} = 0.$$

Обозначив

$$\frac{2\cdot1000}{3EJ} = a; \quad -\frac{1000l}{EJ} = b; \quad \frac{1000l^2}{3EJ} + \frac{W_{пб}}{l} +$$

$$+\frac{W_{зб}}{l} = c; \quad -W_{зб} = d,$$

получим кубическое уравнение

$$ax^3 + bx^2 + cx + d = 0;$$

подстановкой

$$y = x + \frac{1}{3}\cdot\frac{b}{a} = x - \frac{l}{2}$$

приводим это уравнение к виду

$$y^3 + 3py + 2q = 0,$$

где

$$p = \frac{1}{3}\cdot\frac{c}{a} - \frac{1}{9}\left(\frac{b}{a}\right)^2 = \frac{EJ}{2\cdot1000l}(W_{пб} + W_{зб}) - \frac{l^2}{12};$$

$$q = \frac{1}{27}\left(\frac{b}{a}\right)^3 - \frac{1}{6}\cdot\frac{bc}{a^2} + \frac{d}{2a} = \frac{3EJ}{8\cdot1000}(W_{зб} - W_{пб}).$$

Решая это кубическое уравнение, определяем y_1, y_2, y_3 и по их значениям находим значения x-ов подстановкой

$$x = y + \frac{l}{2}. \tag{30}$$

При равной податливости передней и задней бабок, к чему, как убедимся несколько позже, следует стремиться, получаем

$$W_{зб} - W_{пб} = 0.$$

следовательно

$$q = \frac{3EJ}{8 \cdot 1000}(W_{зб} - W_{пб}) = 0.$$

В этом случае кубическое уравнение принимает вид

$$y^3 + 3py = 0$$

или

$$y(y^2 + 3p) = 0,$$

откуда получим

$$y_1 = 0; \quad y_2 = \sqrt{-3p}; \quad y_3 = -\sqrt{-3p}, \tag{31}$$

где

$$p = \frac{EJ}{2 \cdot 1000\, l}(W_{пб} + W_{зб}) - \frac{l^2}{12} = \frac{EJ \cdot 2\, W_б}{2 \cdot 1000\, l} - \frac{l^2}{12} = \frac{EJW_б}{1000\, l} - \frac{l^2}{12}.$$

Взяв в качестве примера значения $E = 2{,}2 \cdot 10^4$ и $J = \frac{\pi d^4}{64}$, получим

$$p = \frac{2{,}2 \cdot 10^4\, \pi d^4 W_б}{1000\, l \cdot 64} - \frac{l^2}{12}$$

или

$$p = \frac{1{,}1\, d^4 W_б}{l} - \frac{l^2}{12}. \tag{32}$$

При $d = 50$ *мм*, $l = 300$ *мм* и $W_б = 0{,}26$ *мк/кг* получим

$$p = \frac{1 \cdot 1 \cdot 50^4 \cdot 0{,}26}{300} - \frac{300^2}{12} = -1541{,}67;$$

в этом случае

$$y = \pm\sqrt{-3p} = \pm\sqrt{-3(-1541{,}67)} = \pm\sqrt{4625},$$

откуда

$$y_1 = 0; \quad y_2 = 68; \quad y_3 = -68.$$

Подставляя найденные значения y, получаем

$$x_1 = y_1 + \frac{l}{2} = \frac{300}{2} = 150.$$

$$x_2 = y_2 + \frac{l}{2} = 68 + \frac{300}{2} = 218.$$

$$x_3 = y_3 + \frac{l}{2} = -68 + \frac{300}{2} = 82,$$

а выражая это в долях длины заготовки $l = 300$ *мм*, находим

$$x_1 = \frac{150}{300} = 0{,}5l; \qquad x_2 = \frac{218}{300} \approx 0{,}73l; \qquad x_3 = \frac{82}{300} \approx 0{,}27l.$$

Приняв $P_y = 44$ *кг*, $W_{суп} = 0{,}36$ *мк/кг* и подставляя найденные значения x_2 и x_3 в формулу (29), получим в обоих случаях одинаковые суммарные отжатия системы станок—заготовка: $Y_{1сист} = Y_{2сист} = 25$ *мк*; это означает, что при заданных условиях отжатия упругой системы располагаются симметрично относительно сечения при $x = 0{,}5\ l$, в котором по той же формуле (29) получим

$$Y_{сист.\ при\ x = 0{,}5\ l} = 25{,}3\ мк.$$

При $x_2 = 218$ *мм* или $0{,}73l$ и $x_3 = 83$ *мм* или $0{,}27l$ имеем минимальные отжатия системы станок—заготовка, так как, определяя по формуле (29) величину отжатий у передней и задней бабок, получим в рассматриваемом примере

$$Y_{сист.\ у\ бабок} = 27{,}3\ мк.$$

Изложенному методу определения минимальных и максимальных отжатий упругой системы станок—заготовка присущи следующие недостатки.

1. Большой объем вычислительной работы при решении кубического уравнения; лишь при равной жесткости передней и задней бабок оно приводится к квадратному уравнению, при решении которого вычислительная работа значительно сокращается.

2. Получение в ряде случаев корней в мнимой форме, которая никакими алгебраическими операциями не преобразовывается в действительную, и необходимость в связи с этим прибегать к тригонометрическому решению, осложняющему вычислительную работу.

3. Значения кубических корней получаются приближенными в связи с неизбежным округлением получаемых при вычислениях величин.

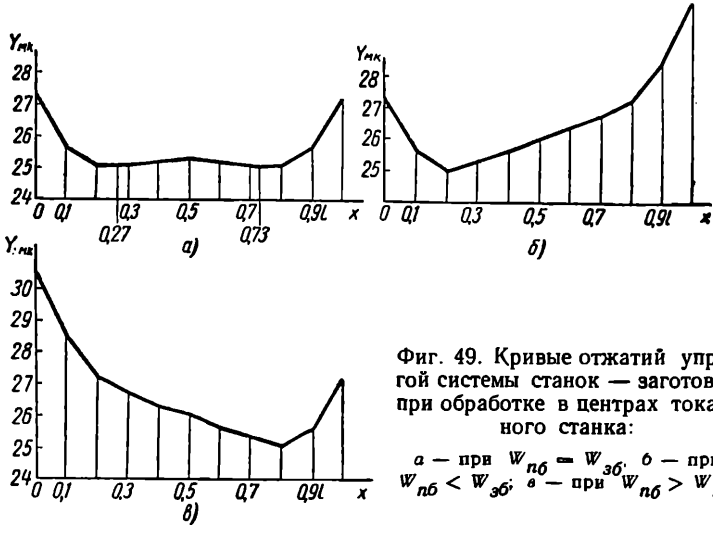
Вместе с тем нельзя получить единое решение при определении этим методом минимальных отжатий упругой системы станок—заготовка, подобно тому как это было получено для обрабатываемой заготовки и станка по формулам (27) и (28), так как решения кубического уравнения меняются в зависимости от соотношения отжатий станка и прогиба заготовки и связанных с этим значений p и q.

Указанные обстоятельства обусловливают целесообразность изыскания другого метода определения положений резца вдоль оси заготовки, при которых будем иметь минимальные и максимальные отжатия упругой системы станок—заготовка.

Наглядную картину отжатий упругой системы станок — заготовка дают кривые отжатий (фиг. 49), построенные по формуле (29).

Анализ кривых отжатий приводит к выводу, что их характеристика меняется в зависимости от податливости передней и задней бабок и отношения $l{:}d$ обрабатываемой заготовки. При равной податливости передней и задней бабок кривая отжатий получается

симметричной относительно сечения при $x = 0{,}5l$. В этом случае получаем наименьшее искажение формы обработанной поверхности и, следовательно, наименьшее отклонение выдерживаемого размера; поэтому следует стремиться к тому, чтобы $W_{зб} = W_{пб}$. Незначительная горбообразность кривых отжатий в сечении при $x = 0{,}5l$ является результатом максимального прогиба заготовки в этом сечении и искаженной отжатиями станка бочкообразности обработанной заготовки. По мере увеличения отношения $l : d$ горбообраз-



Фиг. 49. Кривые отжатий упругой системы станок — заготовка при обработке в центрах токарного станка:

а — при $W_{пб} = W_{зб}$; *б* — при $W_{пб} < W_{зб}$; *в* — при $W_{пб} > W_{зб}$.

ность в сечении при $x = 0{,}5l$ увеличивается; при уменьшении этого отношения горбообразность уменьшается, и при $l : d \leqslant 3$ почти исчезает. В этом случае $Y_{сист}$ определяется только отжатиями станка.

С достаточной для практических целей точностью можно ограничиться расчетом отжатий через $0{,}1l$ (длины обрабатываемой заготовки). В этом случае в целях упрощения расчетов, можно пользоваться готовыми значениями [1] $\left(\frac{l-x}{l}\right)^2$, $\left(\frac{x}{l}\right)^2$ и $\frac{(l-x))^2 x^2}{l}$.

Метод определения положений резца вдоль оси заготовки, при которых возникают максимальные и минимальные отжатия упругой системы станок — заготовка, заключается в следующем.

Пользуясь формулой (29), находим при $x = 0$ (у передней бабки

$$Y_{сист} = P_y (W_{суп} + W_{пб}); \tag{33}$$

при $x = l$ (у задней бабки)

$$Y_{сист} = P_y (W_{суп} + W_{зб}). \tag{34}$$

[1] См. приложение 3.

При равной податливости передней и задней бабок $W_{пб} = W_{зб} = W_б$ определяем $Y_{сист}$ у бабок по формуле

$$Y_{сист} = P_y(W_{суп} + W_б).$$

$Y_{сист}$ для положения резца при $x = 0{,}5l$ определяем, преобразовав формулу (29):

$$Y_{сист} = P_y\left[W_{суп} + 0{,}5W_б + \frac{0{,}0194}{d}\left(\frac{l}{d}\right)^2\right];$$

при этом принято $E = 2{,}2 \cdot 10^4$ и $J = \frac{\pi d^4}{64}$.

Максимальное отжатие системы станок — заготовка получим либо у бабок, либо при среднем положении резца ($x = 0{,}5l$) в зависимости от суммарного отжатия узлов станка и прогиба заготовки; возможен также случай получения трех максимумов: у передней и задней бабок и при среднем положении резца. Минимальное отжатие системы станок — заготовка получим по формулам (30)—(32) для положений резца при x_2 и x_3

$$x_2 = \sqrt{-3p} + \frac{l}{2};$$

$$x_3 = -\sqrt{-3p} + \frac{l}{2},$$

где

$$p = \frac{1{,}1d^4W_б}{l} - \frac{l^2}{12}.$$

Отметим, что x_2 и x_3 располагаются симметрично относительно сечения при $x = 0{,}5l$.

При неравной податливости бабок ($W_{пб} < W_{зб}$ или $W_{пб} > W_{зб}$) определяем $Y_{сист}$ у передней ($x = 0$) и задней ($x = l$) бабок по формулам (33) и (34). Затем находим $x_{ст}$ по формуле (28). При $x_{ст} < 0{,}5l$ производим расчеты $Y_{сист}$ по формуле (29) для положений резца в интервале от $x = 0{,}1l$ до $x = 0{,}5l$; при $x_{ст} > 0{,}5l$ — в интервале от $x = 0{,}5l$ до $x = 0{,}9l$. По найденным значениям $Y_{сист}$ у передней и задней бабок и в указанных интервалах определяем

$$\Delta Y = Y_{max} - Y_{min}.$$

Практически для определения минимального значения $Y_{сист}$ достаточно сделать расчеты либо при $x = 0{,}1l$ и $x = 0{,}2l$ ($x_{ст} < 0{,}5l$), либо при $x = 0{,}8\,l$ и $x = 0{,}9\,l$ ($x_{ст} > 0{,}5\,l$); в сомнительных случаях можно сделать дополнительный расчет при $x = 0{,}3l$ или при $x = 0{,}7\,l$, т. е. два-три расчета, несравненно более простых,

чем определение трех корней кубического уравнения. Для всех этих расчетов можно пользоваться формулой

$$Y_{сист} = P_y\left[W_{суп} + W_{пб}\left(\frac{l-x}{l}\right)^2 + W_{вб}\left(\frac{x}{l}\right)^2 + \frac{0{,}31\,(x-l)^2\,x^2}{d^4 l}\right] \quad (35)$$

Максимальное значение $Y_{сист}$ получим у менее жесткой бабки или при $x = 0{,}5l$ в зависимости от соотношения суммарного отжатия узлов станка и прогиба заготовки [1].

Предельное приращение выдерживаемого размера ΔY в результате нестабильности сил резания и отжатий упругой системы станок—заготовка определяется разностью максимального и минимального отжатия:

$$\Delta Y = Y_{max} - Y_{min}. \quad (36)$$

При переменной составляющей силы резания P_y и переменной податливости системы $W_{сист}$ имеем

$$Y_{max} = P_{y_{max}} W_{max};$$

$$Y_{min} = P_{y_{min}} W_{min},$$

следовательно

$$\Delta Y = P_{y_{max}} W_{max} - P_{y_{min}} W_{min} \quad (37)$$

При обработке наружных и внутренних поверхностей вращения ΔY является разностью предельных отжатий по радиусу, и для характеристики колебания диаметральных размеров значение ΔY должно быть удвоено

$$2\Delta Y = 2(Y_{max} - Y_{min}); \quad (38)$$

$$2\Delta Y = 2(P_{y_{max}} W_{max} - P_{y_{min}} W_{min}). \quad (39)$$

В зависимости от податливости передней и задней бабок станка и прогиба заготовки, максимумы и минимумы суммарных отжатий упругой системы станок — заготовка получаются в различных сочетаниях: один максимум и один минимум, один максимума и два минимума, два максимума и два минимума, три максимума и два минимума и т. п.[2]

Для расчета предельного приращения выдерживаемого размера ΔY необходимо, как это видно из формулы (37), определить значения $P_{y_{max}}$ и $P_{y_{min}}$; поэтому перейдем к рассмотрению методики определения максимального и минимального значений составляющей силы резания P_y.

---

[1] Средние значения податливости узлов и суммарные податливости некоторых станков даны в приложении 3б.

[2] См. приложение 3г.

При обработке проходными резцами (обтачивание, растачивание и строгание) составляющая силы резания, направленная по нормали к обрабатываемой поверхности P_y, определяется, как известно из теории резания металлов, по формуле

$$P_y = C_y t^x s^y H_B^n, \tag{40}$$

где C_y — коэффициент, характеризующий условия работы резания;
t — глубина резания в *мм*;
s — подача в *мм/об*;
H_B — твердость материала по Бринелю в *кг/мм*^{2}.

Числовые значения коэффициента C_y и показателей степени x, y, n в формуле (40) приведены в учебной [18] и справочной [19], [53] литературе.

Величина коэффициента C_y меняется в зависимости от условий резания: обрабатываемого металла, главного угла в плане, радиуса закругления вершины резца, отклонений от рекомендуемой заточки переднего угла резца, износа резца по задней поверхности, скорости резания, применяемой смазочно-охлаждающей жидкости. Изменения коэффициента C_y учитываются умножением его табличной величины на поправочные коэффициенты [1].

При обработке партии заготовок способом автоматического получения размеров на предварительно настроенных станках, значение коэффициента C_y будет изменяться в результате износа резца за период его режущей стойкости.

Под режущей стойкостью, в отличие от размерной стойкости инструмента, понимают время его работы, обусловливаемое ухудшением режущих свойств инструмента вследствие износа его задней или передней поверхности либо передней и задней поверхностей одновременно, что имеет место при работе без охлаждения в тяжелых режимных условиях.

Под размерной стойкостью инструмента понимают продолжительность его работы, обусловливаемую размерным износом инструмента по нормали к обрабатываемой поверхности, в результате которого возникает приращение выдерживаемого размера; величина размерного износа инструмента с учетом других факторов ограничивается допуском на выдерживаемый размер.

При обработке нескольких партий заготовок, полученных из материала различных плавок, возможно колебание твердости металла в пределах, установленных техническими условиями на данный материал — от $H_{B\min}$ до $H_{B\max}$; величина подачи s при обработке на предварительно настроенных станках остается постоянной, но глубина резания может меняться от $t_{\min}$ до $t_{\max}$ в зависимости от допуска на размер заготовки, погрешностей ее формы

[1] Влияние смазочно-охлаждающих жидкостей на процесс трения и износ режущих инструментов, а также влияние скорости резания на силы резания рассмотрены в учебнике «Резание металлов» [18], стр. 164—166, 183—185 и 197—199.

и пространственных отклонений, погрешности установки заготовки и геометрических погрешностей станка; величина C_y также будет изменяться от $C_{y_{min}}$ до $C_{y_{max}}$ в зависимости от степени притупления лезвия режущего инструмента.

Определяя значения составляющей силы резания, направленной по нормали к обрабатываемой поверхности, имеем при обработке совокупности нескольких партий заготовок:

$$P_{y_{max}} = C_{y_{max}} t^x_{max} s^y H^n_{B_{max}}; \quad (41)$$

$$P_{y_{min}} = C_{y_{min}} t^x_{min} s^y H^n_{B_{min}}. \quad (42)$$

В формулах (41) и (42) значение C_y принимают, как было уже сказано, в зависимости от условий резания. Для этого по мере режимного износа резца значение C_y умножают на коэффициент[1] K_h, величину которого принимают в зависимости от износа резца по задней поверхности [19] по нижеприведенным данным.

Износ резца по задней поверхности в *мм*	0	0,5	1,0	1,5	2,0	3,0	4,0
Коэффициент K_h:							
для стали, стального литья и ковкого чугуна	0,70	0,52	0,65	0,82	1,00	—	—
для серого чугуна	0,33	—	0,38	—	0,58	0,80	1,00

Для определения $P_{y_{max}}$ принимают $C_{y_{max}}$; при этом

$$C_{y_{max}} = C_y K'_h$$

Значения K_h выбираются по приведенным данным, исходя из износа резца по задней поверхности, с учетом общей продолжительности времени резания для партии обрабатываемых заготовок.

Для определения $P_{y_{min}}$ принимают

$$C_{y_{min}} = C_y K''_h,$$

где $K''_h = 0{,}52$ или $0{,}33$ в зависимости от обрабатываемого металла.

Силы резания изменяются в зависимости от скорости резания. Для учета этого изменения полученные по формулам значения составляющей силы резания P_y, следует умножать на поправочные коэффициенты K_v. На основании данных, приведенных в учебнике по резанию металлов [18 стр. 184, 185] можно принимать следующие поправочные коэффициенты при обработке стали и серого чугуна:

Скорость резания v в *м/мин*	10	20	30	40	50	60
Коэффициент K_v	0,68	0,70	0,91	0,98	1,00	0,91
Скорость резания v в *м/мин*	80	100	120	160	200	240
Коэффициент K_v	0,78	0,73	0,70	0,69	0,68	0,68

[1] Для определения $P_{y_{max}}$ принято обозначение коэффициента K'_h; для определения $P_{y_{min}}$ — K''_h

Определение значений $P_{y_{max}}$ и $P_{y_{min}}$ поясним на примерах обработки: а) единичной заготовки, б) одной партии заготовок и в) совокупности нескольких партий заготовок.

Для всех примеров примем следующие условия:
величины податливости узлов станка: $W_{суп} = 0{,}36$ *мк/кг*; $W_{пб} = 0{,}26$ *мк/кг*; $W_{зб} = 0{,}34$ *мк/кг*. Материал обрабатываемой заготовки — сталь горячекатаная обычной точности, по ГОСТу 2590-57, диаметром $50^{+0,4}_{-1}$ *мм* и длиной 300 *мм*, твердостью $H_B = 200 \div 240$ *кг/мм*^{2}. Резец устанавливается на глубину резания 1,6 *мм*.

Пример 1. Для единичной заготовки можно принять постоянными значения C_y и H_B. Учитывая, что при обработке на предварительно настроенном станке подача не изменяется и принимая

$$C_y s^y H_B^n = A$$

имеем

$$P_y = At^x.$$

Для единичной заготовки поправочный коэффициент K'_h принимаем 0,7; табличное значение $C_y = 0{,}0027$; тогда имеем

$$C_y = 0{,}0027 \cdot 0{,}7 \approx 0{,}0019;$$

принимаем подачу $s = 0{,}4$ *мм/об* и твердость металла $H_B = 200$; при этих условиях

$$A = 0{,}0019 \cdot 0{,}4^{0,75} \cdot 200^2 = 38{,}23;$$

таким образом, для рассматриваемого примера $P_y = 38{,}23t^x$.

При положении резца у задней бабки по формуле (34) находим

$$Y_{мгн} = 38{,}23 \cdot 1{,}6^{0,9}\,(0{,}36 + 0{,}34) \approx 41 \text{ мк}.$$

В связи с этим мгновенным отжатием уменьшится глубина резания:

$$t = 1{,}6 - 0{,}041 \approx 1{,}56 \text{ мм}$$

следовательно, должно было бы уменьшиться и отжатие; однако практически отжатие не изменится, так как у задней бабки при новой глубине резания

$$Y_{сист} = 38{,}23 \cdot 1{,}56^{0,9}\,(0{,}36 + 0{,}34) \approx 40 \text{ мк}.$$

и, следовательно, глубина резания практически не уменьшится:

$$t = 1{,}6 - 0{,}04 = 1{,}56 \text{ мм}.$$

Проверим $Y_{сист}$ при среднем положении резца. По формуле (29)

$$Y_{сист} = 38{,}23 \cdot 1{,}56^{0,9}\,(0{,}36 + 0{,}26 \cdot 0{,}25 + 0{,}34 \cdot 0{,}25 + \frac{1000 \cdot 64}{3 \cdot 2{,}2 \cdot 10^4 \pi \cdot 50^4} \cdot \frac{150^2 \cdot 150^2}{300}) = 33{,}9 \text{ мк}$$

следовательно, максимальное отжатие получаем у задней бабки: $Y_{max} = 40$ *мк*.

Для определения положения резца, при котором получим Y_{min}, найдем по формуле (28) значение

$$x_{ст} = \frac{0{,}26}{0{,}26 + 0{,}34}\, l = 0{,}433l < 0{,}5l;$$

следовательно, будем делать расчеты отжатий системы станок—заготовка для положений резца при $x = 0{,}1l$ и $x = 0{,}2l$ по формуле (35):

$$Y_{сист} = P_y \left[W_{суп} + W_{пб} \left(\frac{l-x}{l} \right)^2 + W_{зб} \left(\frac{x}{l} \right)^2 + \frac{0{,}31}{d^4} \cdot \frac{(l-x)^2 x^2}{l} \right].$$

а) Определяем $Y_{сист}$ при $x = 0{,}1l$:

$$Y_{сист} = 38{,}23 \cdot 1{,}6^{0{,}9} \left[0{,}36 + 0{,}26 \cdot 0{,}81 + 0{,}34 \cdot 0{,}01 + \frac{0{,}31}{50} \cdot 0{,}0081 \cdot 6^3 \right] = 33{,}8 \text{ мк}.$$

б) При $x = 0{,}2l$

$$Y_{сист} = 58{,}34 \left[0{,}36 + 0{,}26 \cdot 0{,}64 + 0{,}34 \cdot 0{,}04 + \frac{0{,}31}{50} \cdot 0{,}0256 \cdot 6^3 \right] = 32{,}3 \text{ мк}.$$

Сделаем контрольный расчет при $x = 0{,}3l$:

$$Y_{сист} = 58{,}34 \left[0{,}36 + 0{,}26 \cdot 0{,}49 + 0{,}34 \cdot 0{,}09 + \frac{0{,}31}{50} \cdot 0{,}0441 \cdot 6^3 \right] = 33{,}8 \text{ мк}$$

следовательно, Y_{min} получим при $x = 0{,}2l$.

Глубина резания в этом сечении составит

$$t = 1{,}6 - 0{,}0323 \approx 1{,}57 \text{ мм}.$$

Найдем значение Y_{min} при этих условиях:

$$Y_{min} = 38{,}23 \cdot 1{,}57^{0{,}9} (0{,}36 + 0{,}1664 + 0{,}0136 + 0{,}0343) \approx 33 \text{ мк}.$$

Таким образом, приращение размера в результате нестабильности силы резания и отжатий технологической системы составляет

$$\Delta Y = Y_{max} - Y_{min} = 40 - 33 \approx 7 \text{ мк}.$$

Полученное значение ΔY не учитывает погрешностей формы заготовки. В связи с овальностью заготовки, равной 0,7 *мм*, глубина резания может увеличиться в местах овала на 0,35 *мм*, что вызовет увеличение отжатия до

$$Y_{max} = 38{,}23 (1{,}57 + 0{,}35)^{0{,}9} \cdot (0{,}36 + 0{,}34) \approx 47{,}8 \text{ мк};$$

очевидно, что наименьшее отжатие будет при наименьшей глубине резания и при наименьшей податливости системы, т. е. $Y_{min} = 33$ *мк*; таким образом, с учетом погрешности формы получаем

$$\Delta Y = 47{,}8 - 33 \approx 15 \text{ мк}.$$

Пример 2. При обработке партии заготовок значения C_y и, следовательно, P_y увеличиваются в результате затупления режущего инструмента. При условии выполнения партии заготовок из металла одной плавки колебание твердости металла будет незначительным и H_B можно принять постоянным. При этих условиях, учитывая, что C_y повысится до 0,0027, получим

$$A = 0{,}0027 \cdot 0{,}4^{0{,}75} \cdot 200^2 = 54{,}32.$$

Для заготовки с наименьшим предельным размером в начальный момент резания произойдет мгновенное отжатие при положении резца у задней бабки

$$Y_{мгн} = 54{,}32 \cdot 1{,}6^{0{,}9} \cdot 0{,}7 = 58 \text{ мк}.$$

В связи с этим отжатием глубина резания получится

$$t = 1{,}6 - 0{,}058 \approx 1{,}54 \text{ мм};$$

наибольшее отжатие

$$Y_{max} = 54{,}32 \cdot 1{,}54^{0{,}9} \cdot 0{,}7 = 56 \text{ мк}.$$

Для заготовки с наибольшим предельным размером по диаметру глубина резания увеличится на 0,7 *мм*; в этом случае получим мгновенное отжатие при положении резца у задней бабки

$$Y_{мгн} = 54{,}32\,(1{,}6 + 0{,}7)^{0{,}9} \cdot 0{,}7 \approx 80 \text{ мк}.$$

В связи с этим глубина резания получится

$$t = 2{,}3 - 0{,}08 = 2{,}22 \text{ мм};$$

наибольшее отжатие составит

$$Y_{max} = 54{,}32 \cdot 2{,}22^{0{,}9} \cdot 0{,}7 = 78 \text{ мк}.$$

Наименьшее отжатие для партии заготовок получим при

$$C_{y_{min}} = 0{,}0027 \cdot 0{,}52 = 0{,}0014$$

и

$$A = 0{,}0014 \cdot 0{,}4^{0{,}75} \cdot 200^2 = 28{,}17;$$

при этих условиях получаем

$$Y_{мгн} = 28{,}17 \cdot 1{,}6^{0{,}9} \cdot 0{,}7 = 30 \text{ мк};$$

$$t = 1{,}60 - 0{,}03 = 1{,}57 \text{ мм};$$

$$Y_{min} = 28{,}17 \cdot 1{,}57^{0{,}9} \cdot 0{,}7 \approx 24 \text{ мк};$$

таким образом, для партии заготовок, получаем предельное приращение размера

$$\Delta Y = Y_{max} - Y_{min} = 78 - 24 = 54 \text{ мк}.$$

Пример 3. При обработке совокупности нескольких партий заготовок необходимо учесть возможное колебание твердости в пределах допустимых отклонений, т. е. до $H_B = 240$. При твердости $H_B = 240$ получим

$$A = 0{,}0027 \cdot 0{,}4^{0{,}75} \cdot 240^2 = 78{,}23.$$

В начальный момент резания имеем мгновенное отжатие

$$Y_{мгн} = 78{,}23 t^x \cdot 0{,}7 = 78{,}23\,(1{,}6 + 0{,}7)^{0{,}9} \cdot 0{,}7 \approx 116 \text{ мк}.$$

В связи с мгновенным отжатием глубина резания уменьшится до

$$t = (1{,}6 + 0{,}7) - 0{,}116 = 2{,}18,$$

а наибольшее отжатие составит

$$Y_{max} = 78{,}23 \cdot 2{,}18^{0{,}9} \cdot 0{,}7 = 111 \text{ мк}.$$

Наименьшее отжатие в совокупности нескольких партий заготовок остается прежним: $Y_{min} = 24$ *мк*. Таким образом, для совокупности нескольких партий заготовок получим следующее предельное приращение размера в результате нестабильности силы резания и отжатий:

$$\Delta Y = Y_{max} - Y_{min} = 111 - 24 = 87 \text{ мк}.$$

Таким образом, значения ΔY при одинаковых условиях обработки изменяются следующим образом: а) для единичной заготовки $\Delta Y = 15$ *мк*; б) для партии заготовок $\Delta Y = 54$ *мк*; в) для совокупности нескольких партий заготовок $\Delta Y = 87$ *мк*.

Разность предельных отжатий определяет предельное приращение размера в результате нестабильности силы резания.

При многорезцовой обработке за величину силы P_y принимают равнодействующую составляющих сил отдельных резцов по нормали к обрабатываемой поверхности. При этом для ступенчатых валов P_y определяют для каждой ступени в зависимости от глубины резания и скорости резания на данной ступени. Точка приложения равнодействующей определяется последовательным сложением сил по мере вступления резцов в работу резания. При этом определяют по возможности прогибы ступеней вала.

При обработке плоскостей на вертикально-фрезерных станках суммарная податливость ($W_{ст}$) узлов станка по нормали к обрабатываемой поверхности определяется по формуле

$$W_{ст} = W_{шп} + W_к + W_{с-к}, \qquad (43)$$

где $W_{шп}$ — вертикальная податливость шпиндельного узла;
$W_к$ — податливость корпуса шпиндельного узла;
$W_{с-к}$ — податливость системы стол — консоль.

Экспериментально установлено, что величина отжатия системы стол — консоль при откреплённых консоли, салазках и столе примерно в 6 раз превышает отжатие той же системы при закреплённых консоли и салазках и откреплённом столе.

В качестве примера приведем результаты исследования податливости элементов одного из вертикально-фрезерных станков [25].

Отжатие системы стол — консоль при вертикальной составляющей силы резания $P_0 = 312$ *кг* при закреплённых консоли и салазках и откреплённом столе, т. е. в том состоянии, в котором обычно производят обработку, $Y_{с-к} = 3$ *мк*, откуда податливость

$$W_{с-к} = \frac{Y_{с-к}}{P_0} = \frac{3}{312} \approx 0{,}01 \text{ мк/кг}.$$

Отжатие корпуса шпиндельного узла $Y_к = 57$ *мк*. Податливость корпуса

$$W_к = \frac{57}{312} \approx 0{,}18 \text{ мк/кг}.$$

Отжатие шпиндельного узла $Y_{шп} = 60$ *мк*. Податливость шпиндельного узла

$$W_{шп} = \frac{60}{312} = 0{,}2 \text{ мк/кг}.$$

Суммарная податливость узлов станка

$$W_{ст} = W_{шп} + W_к + W_{с-к} = 0{,}2 + 0{,}18 + 0{,}01 \approx 0{,}4 \text{ мк/кг}.$$

Условия закрепления инструмента в шпинделе вертикально-фрезерного станка позволяет создать жесткое защемление оправки инструмента и поэтому не учитывать податливости самого инструмента.

Однако необходимо заметить, что вертикальная составляющая силы резания P_o и горизонтальная составляющая $P_н$ влияют на реакции опор шпинделя, вызывая отжатие и отклонение его от вертикального положения. Определение влияния совместного действия сил P_o и $P_н$ на отжатие и отклонение шпинделя представляет сложную задачу, которая может быть решена лишь приближенно. В своих дальнейших расчетах мы ограничимся учетом отжатий узлов станка по нормали к обрабатываемой поверхности.

При установке заготовок на вертикально-фрезерных станках имеется возможность расположить подводимые или самоустанавливающиеся опоры так, чтобы избежать упругих отжатий заготовки, существенно влияющих на точность обработки. Поэтому расчеты погрешностей обработки можно производить, исходя из жесткой заготовки.

Таким образом, при расчете погрешности обработки на вертикально-фрезерных станках в результате нестабильности силы резания ограничиваются в большинстве случаев учетом суммарной податливости узлов станка, которое при этом в связи с неизменным центральным положением инструмента в процессе резания остается постоянной.

Окружная сила резания P *кг* при фрезеровании определяется по формуле

$$P = Ct^x s_z^y z B^z D^q, \tag{44}$$

где C — коэффициент, характеризующий условия резания;
t — глубина резания в *мм*;
s_z — подача на зуб фрезы в *мм*;
z — число зубьев фрезы;
B — ширина фрезерования в *мм*;
D — диаметр фрезы в *мм*.

Числовые значения коэффициента C и показателей степени приведены в учебной [18] и справочной [19], [53] литературе.

При торцовом фрезеровании можно принять следующие значения составляющих силы резания [18]

Осевая составляющая силы резания (по нормали к обрабатываемой поверхности) $P_o = 0{,}5P$

Горизонтальная составляющая силы резания (параллельная обрабатываемой поверхности) при симметричном резании $P_н = 0{,}4P$, при несимметричном фрезеровании прямой подачей $P'_н = 0{,}8P$; при несимметричном фрезеровании обратной подачей $P''_н = 0{,}3P$.

Учитывая, что при торцовом фрезеровании ширина фрезерования B определяется глубиной срезаемого слоя, а глубина резания t— размером обрабатываемой поверхности в направлении, перпендикулярном движению подачи [19, стр. 153] и определяя предельные

значения составляющей силы резания, направленной по нормали к обрабатываемой поверхности, имеем

$$P_{o_{\min}} = 0{,}5Ct^x s_z^y z B_{\min}^z D^q; \tag{45}$$

$$P_{o_{\max}} = 0{,}5K_h Ct^x s_z^y z B_{\max}^z D^q, \tag{46}$$

где K_h — коэффициент, характеризующий возрастание силы резания по мере затупления режущих зубьев у фрезы.

При обработке вязких сталей принимают $K_h = 1{,}75 \div 1{,}90$; при обработке средних и твердых сталей, а также чугунов $K_h = 1{,}2 \div 1{,}4$ [19 стр. 159].

При обработке плоскостей на вертикально-фрезерных станках, как было уже сказано, можно принять с достаточной для практических целей точностью податливость технологической системы постоянной. Таким образом, наибольшее упругое отжатие

$$Y_{\max} = P_{o_{\max}} W_{cm}$$

и наименьшее упругое отжатие

$$Y_{\min} = P_{o_{\min}} W_{cm}.$$

Разность предельных значений упругих отжатий

$$\Delta Y = W_{cm}\left(P_{o_{\max}} - P_{o_{\min}}\right) \tag{47}$$

характеризует колебание выдерживаемого размера в результате нестабильности величины срезаемого слоя и повышения силы резания вследствие затупления режущих зубьев фрезы в конечный период ее режущей стойкости.

Пример. Допустим, что при обработке партии заготовок значение C изменяется вследствие режимного износа (затупления) режущих зубьев фрезы от $C' = 82$ до $C'' = 107$, а ширина фрезерования B изменяется в пределах допуска на размер заготовки от $B' = 1{,}5$ *мм* до $B'' = 4{,}2$ *мм*.

В этом случае получим

$$P_{o_{\max}} = 0{,}5 \cdot 107 \cdot 130^{1{,}1} \cdot 0{,}12^{0{,}8} \cdot 6 \cdot 4{,}2^{0{,}95} \cdot 150^{-1{,}1} = 216{,}4 \text{ кг};$$

$$P_{o_{\min}} = 0{,}5 \cdot 82 \cdot 130^{1{,}1} \cdot 0{,}12^{0{,}8} \cdot 6 \cdot 1{,}5^{0{,}95} \cdot 150^{-1{,}1} = 63{,}5 \text{ кг}.$$

Допустим, что обработка производится на вертикально-фрезерном станке, податливость которого при закрепленных узлах, кроме стола, $W_{cm} = 0{,}4$ *мк/кг*.

В этих условиях получим

$$\Delta Y = W_{cm}\left(P_{o_{\max}} - P_{o_{\min}}\right) = 0.4\,(216.4 - 63{,}5) = 61{,}2 \text{ мк}$$

т. е. при наибольшем предельном размере заготовки, когда ширина фрезерования (глубина срезаемого слоя) $B = 4{,}2$ *мм*, получим приращение размера в результате отжатия $Y_{\max} = 86.6$ *мк*, а при наименьшем предельном размере заготовки, когда ширина фрезерования $B = 1{,}5$ *мм*, получим $Y_{\min} = 25{,}4$ *мк*; разность этих отжатий

$$Y_{\max} - Y_{\min} = 86{,}6 - 25{,}4 = 61{,}2 \text{ мк}$$

дает колебание выдерживаемого размера в результате нестабильности силы резания при обработке партии заготовок.

При параллельной обработке плоских противолежащих поверхностей на двусторонних барабанно-фрезерных станках является разностью предельных значений упругих отжатий на сторону и для характеристики колебаний выдерживаемого размера между обработанными плоскостями значение ΔY должно быть удвоено; следовательно,

$$2\Delta Y = 2W\left(P_{o_{max}} - P_{o_{min}}\right) \tag{48}$$

Ограничиваясь изложением методики определения величины ΔY при обработке резцами и торцовыми фрезами, укажем, что, пользуясь этой методикой, можно произвести аналогичные расчеты для других станков и методов обработки. При этом напомним, что под упругими деформациями станка понимают не только деформации отдельных его деталей, которые практически оказывают ничтожное влияние на результаты обработки, но и упругие отжатия узловых стыков станка.

Впервые роль этих отжатий была установлена в работе советского ученого К. В. Вотинова [15]. Последующие работы проф. А. П. Соколовского [51], проф. Д. Н. Решетова [41] и других исследователей оказали весьма благоприятное влияние на развитие учения о точности обработки.

Б. Закономерность изменения погрешностей заготовок при обработке на металлорежущих станках

При обработке в условиях упругой системы станок — заготовка — инструмент погрешности формы и пространственные отклонения черной заготовки копируются, но закономерно уменьшаются при каждом выполняемом переходе механической обработки и могут быть доведены при соответствующем построении технологического процесса до весьма малых величин. На последнем переходе технологического процесса эти погрешности не должны превышать величин, допускаемых техническими требованиями, предъявляемыми к готовой детали.

Отношение погрешности ΔY, получившейся в результате произведенной обработки к погрешности Δa, имевшейся до обработки, назовем коэффициентом уточнения $K_{ут}$; таким образом,

$$K_{ут} = \frac{\Delta Y}{\Delta a}.$$

Значение Δa определяет разность глубин резания: t — включающую погрешность формы и $(t - \Delta a)$ — исключающую эту погрешность; например, для овальной заготовки t определяется по большой оси овала, а $(t - \Delta a)$ — по малой оси овала.

По формуле (37) имеем

$$\Delta Y = P_{y_{max}} W_{max} - P_{y_{min}} W_{min}.$$

Для любого сечения заготовки относящаяся к нему податливость системы будет величиной постоянной; при этом формула (37) принимает вид

$$\Delta Y = W_{сист} \left(P_{y_{max}} - P_{y_{min}}\right).$$

При обработке единичной заготовки имеем

$$C_y s^y H_B^n = A = \text{const}.$$

Таким образом, получаем

$$P_{y_{max}} = At^x;$$

$$P_{y_{min}} = A\,(t - \Delta a)^x$$

и

$$\Delta Y = W_{сист} A \left[t^x - (t - \Delta a)^x\right],$$

а следовательно,

$$K_{ут} = \frac{\Delta Y}{\Delta a} = \frac{W_{сист} A \left[t^x - (t - \Delta a)^x\right]}{\Delta a}. \qquad (49)$$

Погрешность, оставшаяся после обработки $\Delta Y_{ост}$ (остаточная погрешность), всегда должна быть меньше исходной погрешности Δa; для принятого определения коэффициента уточнения он должен быть меньше единицы: $K_{ут} < 1$; $\Delta Y_{ост} < \Delta a$, поэтому

$$W_{сист} A \left[t^x - (t - \Delta a)^x\right] < \Delta a,$$

откуда непременным условием имеем

$$W_{сист} < \frac{\Delta a}{A \left[t^x - (t - \Delta a)^x\right]},$$

так как в противном случае никакого уточнения, т. е. уменьшения погрешности, не получится, а наоборот, исходная погрешность может увеличиться.

Практика подтверждает это; например, при последовательном многопроходном тонком обтачивании после определенного числа проходов наблюдается увеличение остаточной погрешности сравнительно с предшествующим проходом. Это означает, что остаточная погрешность $\Delta Y_{ост}$ после предшествующего прохода оказалась настолько малой, что

$$W_{сист} > \frac{\Delta Y_{ост}}{A \left[t^x - (t - \Delta_{ост})^x\right]},$$

т. е. нарушилось оговоренное нами непременное условие.

На основании формулы (49) можно установить, что

$$\Delta Y_{ост} = K_{ут}\Delta a$$

или

$$\Delta Y_{ост} = \frac{W_{сист}A\left[t^x - (t-\Delta a)^x\right]}{\Delta a}\Delta a,$$

т. е. остаточная погрешность

$$\Delta Y_{ост} = W_{сист}A\left[t^x - (t-\Delta a)^x\right]. \qquad (50)$$

При обработке поверхностей вращения значения $\Delta Y_{ост}$ и Δa определяют по радиусу и для получения диаметральных значений удваивают; коэффициент уточнения при этом, разумеется, не изменяется.

Та же закономерность сохраняется при обработке торцовой фрезой для каждого ее прохода; однако при торцовом фрезеровании глубина резания t, определяемая размером обрабатываемой поверхности в направлении, перпендикулярном к движению подачи, может быть принята постоянной, а ширина фрезерования B, определяемая глубиной срезаемого слоя [19 стр. 153], изменяется в зависимости от погрешностей заготовки; поэтому при симметричном торцовом фрезеровании получаем

$$K_{ут} = \frac{\Delta Y}{\Delta a} = \frac{W_{сист}A\left[B^z - (B-\Delta a)^z\right]}{\Delta a} \qquad (49а)$$

и, соответственно, при непременном условии

$$W_{сист} < \frac{\Delta a}{A\left[B^z - (B-\Delta a)^z\right]};$$

в этом случае принимают

$$A = 0{,}5Ct^x s_z^y z D^q$$

Остаточная погрешность при торцовом фрезеровании определяется по формуле

$$\Delta Y_{ост} = W_{сист}A\left[B^z - (B-\Delta a)^z\right]. \qquad (50а)$$

Эти выводы распространяются при том же непременном условии и на пространственные отклонения:

$$K_{ут} = \frac{\rho_{ост}}{\rho_a} = \frac{W_{сист}A\left[t^x - (t-\rho_a)^x\right]}{\rho_a}; \qquad (51)$$

$$\rho_{ост} = W_{сист}A\left[t^x - (t-\rho_a)^x\right]; \qquad (52)$$

$$K_{ут} = \frac{\rho_{ост}}{\rho_a} = \frac{W_{сист}A\left[B^z - (B-\rho_a)^z\right]}{\rho_a}; \qquad (51а)$$

$$\rho_{ост} = W_{сист}A\left[B^z - (B-\rho_a)^z\right]; \qquad (52а)$$

в этих формулах ρ_a — исходное пространственное отклонение, $\rho_{ост}$ — остаточное пространственное отклонение.

Чтобы выяснить порядок числовых значений коэффициентов уточнения для последовательных переходов механической обработки, сделаем для примера несколько расчетов. При обработке круглой горячекатаной стали обычной точности прокатки диаметром 130 *мм* и длиной 780 *мм*, примем наиболее неблагоприятные условия резания при допустимом затуплении инструмента и верхнем пределе твердости металла.

При этих условиях, подставляя значения C_y, x, y и n из справочной литературы [19] и принимая $W_{сист} = 0{,}5$ *мк/кг*, $s = 1{,}4$ *мм/об*, $t = 2{,}5$ *мм* и $\Delta a = 0{,}7$ *мм* (овальность не более 1,4 *мм*), получим по формуле (49)

$$K'_{ут_1} = \frac{\Delta Y}{\Delta a} = \frac{0{,}5A' \cdot [2{,}5^{0{,}9} - (2{,}5 - 0{,}7)^{0{,}9}]}{700} = 0{,}082;$$

$$A' = 0{,}0027 \cdot 1.4^{0{,}75} \cdot 240^2 \approx 200,$$

следовательно, для принятых условий погрешность формы уменьшается после черновой обработки по диаметральному размеру с 1400 *мк* до $1400 \cdot 0{,}082 \approx 115$ *мк*.

После чистовой обработки получим

$$K''_{ут_1} = \frac{0{,}5A'' [0{,}56^{0{,}9} - (0{,}56 - 0{,}06)^{0{,}9}]}{57.5} = 0{,}02;$$

$$A'' = C_y K_h K_v s^y H_B^n = 0{,}0027 \cdot 0{,}82 \cdot 0{,}7 \cdot 0{,}3^{0{,}75} \cdot 240^2 = 36{,}15,$$

т. е. овальность уменьшится с 115 до $\approx 2{,}3$ *мк*.

В приведенном для определения A'' выражении — K_v означает поправочный коэффициент на силу резания, зависящий от скорости резания.

Общий коэффициент уточнения

$$K_{ут_1} = 0{,}08 \times 0{,}02 = 0{,}0016$$

уменьшает первоначальную погрешность черной заготовки с 1400 *мк* до $1400 \cdot 0{,}0016 \approx 2{,}3$ *мк*.

При тех же условиях, но при другом положении резца, коэффициенты уточнения изменяются в связи с изменением податливости системы $W_{сист}$.

Допустим, что при фрезеровании заготовки со стороной квадрата 130 *мм* местная кривизна достигает 500 *мк*, вследствие чего величина срезаемого слоя B может колебаться в пределах 0,5 *мм*; принимая $t = 130$ *мм*, $B = 1.8$ *мм* и $W_{ст} = 0{,}5$ *мк/кг* по оси шпинделя вертикально-фрезерного станка, получим по формуле (51а):

при черновом фрезеровании

$$K'_{ут} = \frac{\rho_{ост}}{\rho_a} = \frac{W_{сист} A [B^2 - (B - \rho_a)^z]}{\rho_a};$$

$$A = 0{,}5Ct^x s_z^y z D^q = 0{,}5 \cdot 82 \cdot 130^{1{,}1} \cdot 0.12^{0{,}8} \cdot 6 \cdot 150^{-1{,}1} = 43{,}2;$$

$$K'_{ут} = \frac{0{,}5 \cdot 43{,}2 [2.3^{0{,}95} - (2{,}3 - 0{,}5)^{0{,}95}]}{500} = 0{,}02;$$

остаточная кривизна будет

$$\rho_{ост} = 0{,}5 \cdot 0{,}02 = 0{,}01 \text{ мм};$$

при чистовом фрезеровании

$$A = 0{,}5CK_1K_2t^x s_z^y z D^q = 0{,}5 \cdot 82 \cdot 1{,}3 \cdot 0{,}96 \cdot 130^{1{,}1} \cdot 0{,}1^{0{,}8} \cdot 16 \cdot 150^{-1{,}1} = 39{,}5;$$

$$K''_{ут} = \frac{0{,}5 \cdot 39{,}5 [0{,}51^{0{,}95} - (0{,}51 - 0{,}01)^{0{,}95}]}{10} = 0{,}02.$$

Общий коэффициент уточнения

$$K_{ут} = K'_{ут}K''_{ут} = 0{,}02 \cdot 0{,}02 = 0{,}0004$$

уменьшает первоначальную погрешность до $500 \cdot 0{,}0004 = 0{,}2$ *мк*.

При выполнении каждого технологического перехода механической обработки возникают погрешности формы и пространственные отклонения в результате геометрических погрешностей станка, погрешностей установки заготовки для обработки на станке и других технологических факторов. Результативная погрешность формы обработанной поверхности, а также результативное пространственное отклонение представляют собой совокупность как остаточных погрешностей заготовки, так и погрешностей, вновь возникших при выполняемом технологическом переходе. Закономерность уменьшения погрешностей заготовки и владение методом расчета погрешностей, вновь возникающих при выполняемом переходе, дают возможность определять расчетным путем результативную погрешность как формы, так и пространственного отклонения обработанной элементарной поверхности.

Вместе с тем коэффициент уточнения характеризует лишь закономерность уменьшения погрешностей черной заготовки; при этом мы получаем приближенное его значение, так как не учитываем влияния горизонтальной составляющей силы резания (P_x при точении, $P_н$ — при фрезеровании), которая также оказывает некоторое влияние на получаемый результат обработки.

В связи с изложенным приходим к следующим выводам:

1. Коэффициенты уточнения должны рассчитываться в случае надобности применительно к конкретным условиям обработки.

2. После чистовой обработки остаточные погрешности ничтожно малы, и ими можно пренебрегать.

3. Для технологических расчетов приходится прибегать преимущественно к определению остаточных пространственных отклонений. Погрешности формы, как правило, не рассчитываются, так как они обычно находятся в пределах допуска по выдерживаемому размеру; лишь в исключительных случаях встречается необходимость расчета остаточных погрешностей формы обработанной поверхности.

На закономерном уменьшении погрешностей геометрических форм и коэффициенте уточнения базируются некоторые методы определения жесткости станков при резании металлов. Эти методы могут применяться непосредственно в цеховых условиях [47].

Не вдаваясь в критику этих методов определения жесткости, укажем, что они дают суммарное значение жесткости системы, тогда как для расчета отжатий необходимо располагать данными о податливости отдельных элементов упругой системы.

Кроме упругих отжатий элементов технологической системы станок — заготовка — инструмент, на отклонения выдерживаемого размера влияют также погрешности, возникающие вследствие геометрических неточностей станка и неточностей его настройки.

Геометрическая точность станков установлена государственными стандартами (ГОСТ). Погрешности, допущенные при изготовлении станков, в процессе эксплуатации увеличиваются; поэтому при расчетах приходится учитывать величины погрешностей не новых станков, а находящихся в эксплуатации. Например, для токарных станков с высотой центров до 175 *мм* допускается отклонение от параллельности оси шпинделя направляющим станины в горизонтальной плоскости на длине 300 *мм* до 0,01 *мм* для новых станков и до 0,02 *мм* для станков, вышедших из капитального ремонта. Для новых станков с большей высотой центров, отклонение от параллельности оси шпинделя направляющим станины в горизонтальной плоскости, допускается от 0,02 до 0,04 *мм* в зависимости от класса точности станков. Эта геометрическая погрешность станка создает отклонение от цилиндрической формы обработанной поверхности, а именно конусность. При этом разность в диаметрах обработанной поверхности будет зависить от ее длины и может быть определена по формуле

$$\Delta r = \frac{c_m l_m}{L}$$

или

$$\Delta d = 2\frac{c_m l_m}{L}, \qquad (53)$$

где Δr и Δd — приращение соответственно радиуса и диаметра обработанной поверхности;

c_m — допускаемое отклонение от параллельности оси шпинделя направляющим станины на длине L (в данном случае $L = 300$ *мм*);

l_m — длина обработанной поверхности в *мм*.

Путем соответствующей выверки задней бабки станка при обработке в центрах можно избежать конусности обработанной поверхности, но при консольном, достаточно жестком креплении заготовки (в патроне или цанге) неизбежно получим конусность обработанной поверхности.

Радиальное перемещение шпинделя токарного станка при вращении, возникающее вследствие овальности его шеек, допускается по стандарту в пределах 0,005 — 0,03 *мм*, в зависимости от класса точности станка и высоты его центров. При обработке заготовки образуется соответствующая овальность шеек заготовки. Обе погрешности формы — конусность и овальность — создают погрешность размера, которая определяется как арифметическая сумма накладывающихся одно на другое отклонений размеров, являющихся результатом возникших погрешностей формы.

При обработке плоских поверхностей на вертикально-фрезерных станках непараллельность рабочей поверхности стола его продольным направляющим создает пространственное отклонение, а именно

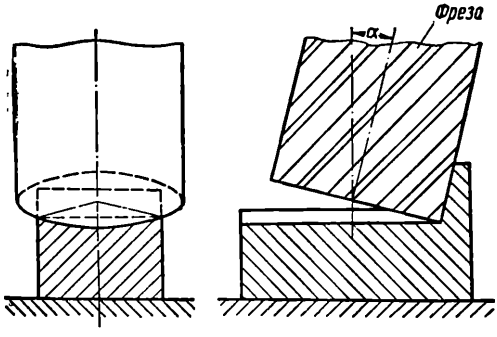
непараллельность обработанной и установочной поверхностей. Величина этой погрешности определяется по формуле

$$\Delta h = \frac{c_\phi l_\phi}{L}, \qquad (54)$$

где Δh — приращение высоты обработанной поверхности;
c_ϕ — непараллельность рабочей поверхности стола его продольным направляющим на длине L;
l_ϕ — длина обработанной поверхности в *мм*.

Неперпендикулярность оси шпинделя к поверхности стола в продольном направлении вызовет при обработке вогнутость в сечении, перпендикулярном к подаче (фиг. 50).

Расчет величины вогнутости, вытекающий из геометрических связей, дает завышенные результаты сравнительно с фактической вогнутостью. Это объясняется тем, что при геометрическом расчете не учитываются отжатия фрезерной головки, уменьшающие вогнутость, а также тем, что величина наклона оси шпинделя изменяется в процессе фрезерования вследствие погрешностей направляющих стола.



Фиг. 50. Вогнутость обработанной поверхности в результате неперпендикулярности оси шпинделя к поверхности стола.

Действительная вогнутость не превышает 2 *мк* при диаметре фрезы до 200 *мм* и 5 *мк* при диаметре фрезы до 600 *мм*.

Оба указанных отклонения — непараллельность рабочей поверхности стола его продольным направляющим и неперпендикулярность оси шпинделя к рабочей поверхности стола в продольном направлении — создают погрешности обработанной поверхности и, следовательно, погрешность выдерживаемого размера, которая определяется арифметической суммой погрешностей обработки, вызываемых указанными геометрическими отклонениями элементов станка.

Вместе с тем указанные погрешности создают пространственные отклонения относительно боковых и торцовых поверхностей детали.

В результате геометрических погрешностей станков возникают погрешности формы обработанной поверхности, а также ее пространственные отклонения относительно сопряженных с ней поверхностей. В частности, например, конусность цилиндрической поверхности создает неперпендикулярность ее образующей к торцовым поверхностям; допускаемое отклонение от перпендикулярности направляющих суппорта к оси вращения шпинделя токарного станка

обусловливает вогнутость подрезаемой торцовой поверхности и ее неперпендикулярность к оси заготовки.

Отклонения размеров, создаваемые погрешностями формы и пространственными отклонениями, определяются из геометрических связей при арифметическом суммировании, так как эти отклонения всегда накладываются одно на другое.

Под настройкой станка на выдерживаемый размер следует понимать установку инструмента, рабочих элементов станка и установочных элементов приспособления в такое взаимное положение, которое обеспечивает с учетом явлений, происходящих в процессе обработки, получение выдерживаемого размера в пределах установленного допуска.

Это взаимное положение элементов технологической системы определяют термином «у с т а н о в о ч н ы й р а з м е р».

Погрешность настройки станка возникает вследствие того, что при каждой новой настройке невозможно установить рабочие элементы станка и инструмент точно в такое же положение, в котором они находились при предшествующей наладке; тем более невозможна абсолютно одинаковая наладка нескольких станков-дублеров.

Величина погрешности настройки ΔH зависит от метода настройки и включает погрешности установки режущего инструмента, приспособления, упоров и других элементов наладки.

Установка инструмента на размер может быть произведена по лимбу или шкале, по эталону, габариту, по обработанной детали или другими методами, в зависимости от которых получим различные погрешности настройки. В частности, эти погрешности определяются ценой деления шкалы или лимба, точностью изготовления эталона или габарита, колебанием зазора между эталоном или габаритом и режущим инструментом, колебанием действительных размеров обработанных заготовок, по которым производится настройка.

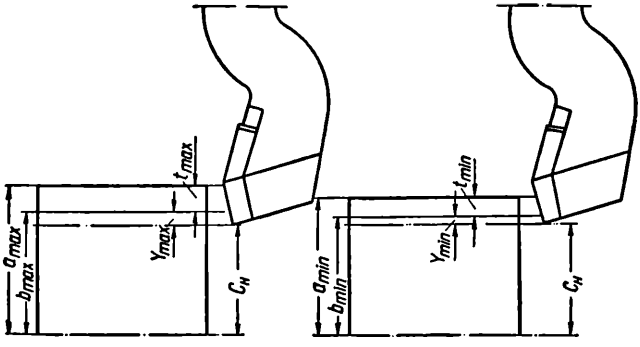
Методы настройки станка выбираются в зависимости от присущих им погрешностей и заданного допуска по выдерживаемому размеру.

В тех случаях, когда получение заданных размеров обеспечивается мерными инструментами (сверлами, развертками, протяжками, пазовыми фрезами), погрешности наладки станка находятся в зависимости от фактических размеров инструмента, который изготовляется с определенной степенью точности. Например, по ГОСТу 885-41 допуски на сверла диаметром от 1 до 80 *мм* составляют от 25 до 74 *мк*. Колебания в размерах сверл окажут при каждой смене инструмента влияние на точность обработки аналогично погрешности наладки.

Настройка станков связана с выбором наиболее целесообразной величины установочного размера, т. е. размера, определяющего, как уже сказано, взаимное положение рабочих элементов станка, приспособления и инструмента в момент настройки или регулировки.

Под регулировкой установочного размера, называемой на производстве «подналадкой станка», понимают восстановление установочного размера, изменившего свою величину вследствие размерного износа инструмента.

Для определения установочного размера необходимо предварительно рассмотреть вопрос о взаимосвязи действительных размеров заготовок на любой стадии их обработки с действительными размерами поверхностей, получаемыми при выполняемом технологическом переходе.



Фиг. 51. К расчету установочного размера при обработке наружных поверхностей.

Экспериментально установлено, что при обработке способом автоматического получения размеров наибольшие и наименьшие действительные размеры поверхностей после обработки получаются соответственно из заготовок с наибольшими и наименьшими действительными размерами.

Действительно, при наибольшем предельном размере заготовки, установленный на выдерживаемый размер инструмент будет работать с наибольшей глубиной резания t_{max}. В этом случае при всех прочих равных условиях получим при обработке резцами $P_{y_{max}}$ и, следовательно, в технологической системе возникает наибольшее отжатие Y_{max}.

Обозначив установочный размер величиной $C_н$, получим размер обработанной заготовки (фиг. 51);

$$b_{max} = C_н + Y_{max}. \qquad (55)$$

При наименьшем предельном размере заготовки получим наименьшую глубину резания t_{min}, а следовательно,

$$P_{y_{min}},\ Y_{min} \text{ и } b_{min} = C_н + Y_{min}. \qquad (56)$$

Очевидно, что все действительные размеры, полученные после обработки в пределах от b_{min} до b_{max}, будут взаимосвязаны с соот-

ветствующими действительными размерами заготовок, находящимися в пределах от a_{min} до a_{max}.

Таким образом, во всех случаях, в процессе обработки заготовки вследствие отжатий в упругой системе станок — заготовка — инструмент установочный размер $C_н$ увеличивается.

Однако, если для обработки наружных поверхностей установить инструмент по наименьшему предельному размеру, установочный размер $C_н$ может быть уменьшен в результате погрешности настройки станка, следствием чего будет брак по непроходной стороне калибра. Поэтому погрешность настройки по наименьшему предельному размеру при обработке наружных поверхностей может быть допущена только в сторону увеличения установочного размера.

Очевидно, этому условию будет удовлетворять установочный размер [38].

$$C_{н\,min} = b - H_{ср} - Y_{min} \tag{57}$$

и

$$C_{н\,max} = b_{min} - H_{ср} - Y_{min} + \Delta H, \tag{58}$$

где ΔH — погрешность настройки;

$H_{ср}$ — заданная высота микронеровностей обработанной поверхности.

Учетом $H_{ср}$ компенсируется погрешность положения измерительных баз при настройке на размер (вершина резца) и измерении полученного при обработке размера (вершины микропрофиля, а не его впадины).

Очевидно, что допускаемая погрешность настройки станка регламентируется допуском по выдерживаемому размеру; при этом чем уже поле допуска на выдерживаемый размер, тем меньшее значение должна иметь величина допускаемой погрешности настройки ΔH.

Учитывая некоторый запас надежности, можно приближенно принимать $\Delta H \approx 0{,}1\,\delta_b$, где δ_b — допуск по выдерживаемому размеру.

Погрешности измерения обработанных заготовок в процессе настройки станка также должны включаться в суммарную погрешность настройки ΔH.

При расчете установочного размера $C_{н\,min}$ нам заданы b_{min} и $H_{ср}$, а величина Y_{min} зависит от условий обработки. Поэтому, сначала принимаем ориентировочную величину

$$C_н = b_{min} - H_{ср}$$

и определяем мгновенную глубину резания:

$$t_{мгн} = a_{min} - C_н;$$

при мгновенной глубине резания находим мгновенное отжатие:

$$Y_{мгн} = AW_{сист} t^x_{мгн},$$

где

$$A = C_{y\min} s^{y} H_B^{n}.$$

В результате мгновенного отжатия глубина резания уменьшается до

$$t_{\min} = t_{мгн} - Y_{мгн}.$$

Находим $Y_{\min}$ при глубине резания $t_{\min}$;

$$Y_{\min} = AW_{сист} t_{\min}^{x};$$

теперь определяем по формуле (57)

$$C_{н\min} = b_{\min} - H_{ср} - Y_{\min}.$$

Проверяем, не выйдет ли размер $b'_{\min}$ при найденном $C_{н\min}$ за пределы заданного $b_{\min}$:

$$\begin{aligned}
t'_{мгн} &= a_{\min} - C_{н\min};\\
Y'_{мгн} &= AW_{сист} t'^{x}_{мгн};\\
t'_{\min} &= t'_{мгн} - Y'_{мгн};\\
Y'_{\min} &= AW_{сист} t'^{x}_{\min};\\
b'_{\min} &= C_{н\min} + H_{ср} + Y'_{\min};
\end{aligned} \qquad (59)$$

при этом расчетное значение $b'_{\min}$ должно быть не менее заданного размера $b_{\min}$.

Определяем величину

$$C_{н\max} = C_{н\min} + \Delta H;$$

проверяем, не выйдет ли расчетное значение $b_{\max}$ за пределы заданного $b_{\max}$:

$$\begin{aligned}
t''_{мгн} &= a_{\max} - C_{н\max};\\
A &= C_{y\max} s^{y} H_B^{n};\\
Y''_{мгн} &= AW_{сист} t''^{x}_{мгн};\\
t''_{\max} &= t''_{мгн} - Y''_{мгн};\\
Y''_{\max} &= AW_{сист} t''^{x}_{\max};\\
b''_{\max} &= C_{н\max} + H_{ср} + Y''_{\max};
\end{aligned} \qquad (60)$$

при этом расчетное значение $b''_{\max}$ должно быть менее заданного размера $b_{\max}$.

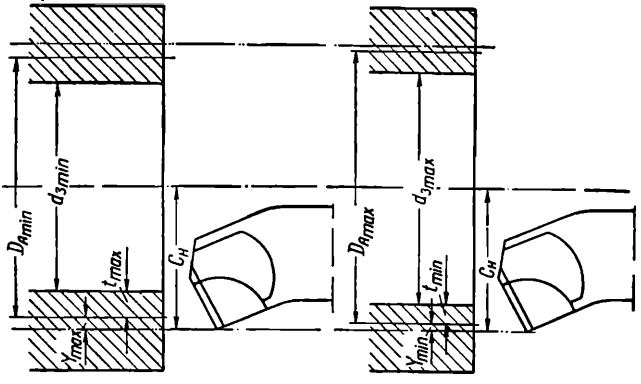
Расчеты величин $Y_{\min}$ и $Y_{\max}$ производим так, как это делается для одной партии заготовок, т. е. при неизменном H_B.

Практически, при небольших глубинах резания можно принимать

$$C_{н_{min}} = b_{min} - H_{ср}$$

и непосредственно производить проверку получающихся размеров b_{min} и b_{max}. При значительных глубинах резания необходимо придерживаться изложенной выше методики расчета.

При обработке внутренних поверхностей (отверстий) с наименьшим предельным размером заготовки $d_{з_{min}}$ (фиг. 52), установленный



Фиг. 52. К расчету установочного размера при обработке отверстий.

на выдерживаемый размер инструмент, будет работать с наибольшей глубиной резания t_{max}. В этом случае при обработке резцами будем иметь $P_{y_{max}}$ и Y_{max}.

При установочном размере $C_н$ от оси вращения заготовки до вершины резца имеем

$$\frac{D_{A_{min}}}{2} = C_н - Y_{max}$$

или

$$D_{A_{min}} = 2(C_н - Y_{max}). \qquad (61)$$

При наибольшем предельном размере заготовки $d_{з_{max}}$ режущий инструмент работает с наименьшей глубиной резания t_{min}; в этом случае получим $P_{y_{min}}$ и Y_{min}.

При том же установочном размере $C_н$ получим

$$D_{A_{max}} = 2(C_н - Y_{min}). \qquad (62)$$

Таким образом, установочный размер при обработке внутренних поверхностей вращения определяется с учетом $H_{ср}$ по формулам

$$C_{н\,max} = \frac{D_{A\,max}}{2} + H_{ср} + Y_{min} \tag{63}$$

и

$$C_{н\,min} = \frac{D_{A\,max}}{2} + H_{ср} + Y_{min} - \Delta H; \tag{64}$$

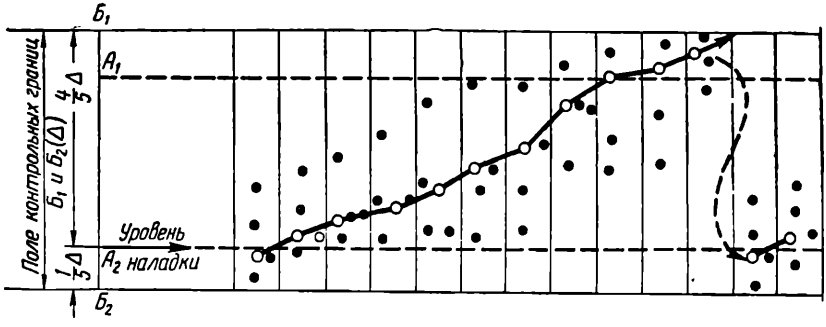
при односторонней обработке внутренних поверхностей по формулам

$$C_{н\,max} = b_{max} + H_{ср} + Y_{min} \tag{65}$$

и

$$C_{н\,min} = b_{max} + H_{ср} + Y_{min} - \Delta H. \tag{66}$$

Таким образом, установочный размер для обработки наружных поверхностей должен быть близок к нижнему предельному значению, а для внутренней поверхности — к верхнему предельному значению выдерживаемого размера.



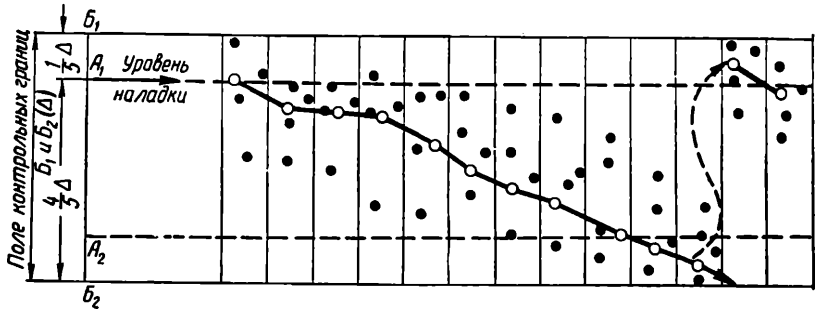
Фиг 53. Уровень наладки и варьирование действительных размеров при обработке наружных поверхностей

Обоснованным выбором установочного размера с одной стороны исключается возможность появления брака по непроходной стороне сразу же после настройки станка, а с другой стороны достигается более полное использование поля допуска на износ инструмента и, таким образом, уменьшается число подналадок станка на протяжении периода стойкости инструмента.

Не прибегая к дифференцированному анализу факторов, определяющих величину установочного размера, на производстве, на основе опытных данных, смещают установочный размер на $^1/_5$ поля допуска в сторону, гарантирующую от получения брака (фиг. 53 и 54) *.

* Фиг 53 и 54 заимствованы из плаката 1954 г. Московского автозавода им. Лихачева (ЗИЛ) для наладки станков с помощью графиков статистического контроля.

Таким образом, при обработке наружных поверхностей станки следует налаживать на нижний уровень наладки (фиг. 53), при обработке внутренних поверхностей — на верхний уровень наладки (фиг. 54).



Фиг. 54. Уровень наладки и варьирование действительных размеров при обработке внутренних поверхностей.

На фиг. 53 и 54 Δ обозначает допуск на выдерживаемый размер; A_1 и A_2 — уровни наладки станка. Кривые на фиг. 53 и 54 проведены по средним значениям в пробах (медианах), которые характеризуют фактические размеры обработкии более точно, чем единичные замеры.

В. Размерный износ инструмента. Влияние температурных деформаций элементов технологической системы на выдерживаемые размеры

Размерный износ инструмента вызывает погрешность, закономерно изменяющую свое значение в партии обработанных заготовок.

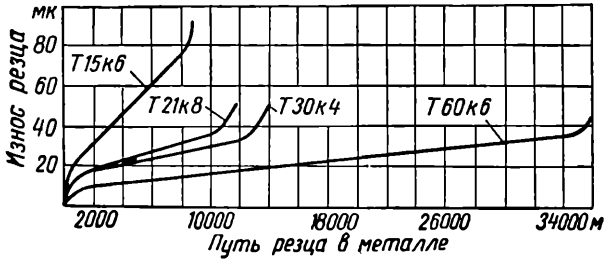
Износ режущего инструмента зависит от ряда факторов; в частности, на износ инструмента оказывают влияние обрабатываемый материал, материал режущего инструмента, его конструкция, геометрические параметры режущей части и размеры, термообработка рабочей части, шероховатость режущего лезвия, скорость резания, вид и количество охлаждающей жидкости и др.

Во многих случаях имеет место значительный размерный износ инструмента и с этим явлением приходится считаться как с фактором, существенно влияющим на точность обработки.

Исследования показывают, что пропорциональности между размерным износом u и износом по задней поверхности h не наблюдается и определение размерного износа по формуле $u = h \operatorname{tg} \alpha$ приводит к недопустимо грубой погрешности. Это объясняется тем, что размерный износ зависит от износа по задней поверхности лишь на участке, прилегающем к вершине резца, но не на участке главной режущей кромки, где замеряется обычно износ по задней поверхности h. Это обстоятельство и непрерывное перемещение точки контакта режу-

щего лезвия с обработанной поверхностью вынуждают определять размерный износ инструмента самостоятельно экспериментальным путем.

На фиг. 55 показана зависимость размерного износа от пути резания, т. е. от пройденного инструментом пути в металле; эта зависимость получена при тонком точении резцами, оснащенными пластинками твердых сплавов показанных на фигуре марок [49]. Каждая кривая износа состоит из трех участков: первый характеризуется повышенным размерным износом вследствие приработки лез-



Фиг. 55. Зависимость размерного износа от пути резания.

вия резца; второй — уменьшенным размерным износом, характерным для данных условий; третий — интенсивным нарастанием износа, приводящим к разрушению лезвия.

Линейная зависимость размерного износа на втором, наиболее длинном, участке наблюдается при обработке различными режущими инструментами, что позволяет принять за характеристику размерного износа относительный или удельный износ на 1000 *м* пути резания [49]

$$u_0 = \frac{1000u}{l}, \tag{67}$$

где u_0 — удельный размерный износ в *мк* на 1000 *м* пути резания;
u — размерный износ в *мк* на пути, соответствующем второму участку кривой износа;
l — длина пути резания в *м* на втором участке кривой.

Из этой формулы получаем

$$u = \frac{l}{1000} \cdot u_0; \tag{68}$$

формула (68) не учитывает начального интенсивного износа в период приработки режущего лезвия; с достаточной для практических целей точностью можно принять

$$u = \frac{L}{1000} \cdot u_0 = \frac{l + l_к}{1000} \cdot u_0, \tag{69}$$

где L — полная длина пути резания, т. е. $L = l + l_н$;

$l_н$ — длина пути резания, соответствующая начальному износу резца. При расчетах с достаточной для практики точностью во всех случаях принимают $l_н = 1000$ *м*.

Относительный износ при чистовом точении твердосплавными резцами колеблется от 3 до 10 *мк* на 1000 *м* пути резания в металле, в зависимости от марки твердого сплава, скорости резания и свойств обрабатываемой стали [49].

Путь резания при точении l для выбранного режима резания определяется по формулам

$$l = vt_{маш}$$

или

$$l = \frac{\pi D}{1000} \cdot \frac{L}{s},$$

где l — путь резания в *м*;

D — диаметр обрабатываемой поверхности в *мм*;

L — длина обрабатываемой поверхности в *мм*;

s — подача в *мм/об*.

Допустимый размерный износ инструмента назначается при заданных условиях обработки в зависимости от допуска на выдерживаемый размер.

Размерный износ $u \approx 0{,}4\delta$ (здесь δ — допуск по выдерживаемому размеру). Необходимо, однако, иметь в виду, что при обработке поверхностей вращения погрешность выдерживаемого размера Δu в результате размерного износа резца u удваивается (в сравнении с величиной износа резца, т. е. $\Delta u = 2u$), что вынуждает иногда ограничивать допустимый размерный износ инструмента меньшей чем 0,4 δ величиной.

В опытах автора размерный износ инструмента при грубой обработке достигал 250 *мк*. Принимать размерный износ больше этой величины даже при грубой обработке не рекомендуется, так как параллельно протекающий режимный износ инструмента значительно ухудшает его режущие свойства за этот период размерной стойкости.

При тонкой обработке размерный износ инструмента достигает в некоторых случаях половины допуска при очень малых размерах (например, при развертывании отверстий диаметром 1—3 *мм*) и примерно одной четверти допуска при значительных размерах (например, при развертывании отверстий диаметром 120—180 *мм*).

Анализируя причины, вызывающие производственные погрешности, и, в частности, размерный износ инструмента, необходимо указать на то обстоятельство, что при обработке заготовок на металлорежущих станках температурный режим технологической системы станок — заготовка — инструмент не остается постоянным. В результате изменений температурного режима возникают температурные деформации элементов технологической системы, нарушающие взаимное положение элементов станка и размер, на который был

установлен режущий инструмент; температурная деформация заготовки изменяет глубину резания и, следовательно, силу резания. Таким образом, температурные деформации технологической системы станок — заготовка — инструмент оказывают определенное влияние на точность обработки, особенно в начальный период работы станка после длительного перерыва. В дальнейшем наступает тепловое равновесие и температурные деформации сохраняют более или менее устойчивое состояние [49], [50].

Как известно, величина температурной деформации может быть определена по формуле

$$\Delta_m = \alpha L (\vartheta_к - \vartheta_н), \tag{70}$$

где Δ_m — величина температурной деформации;
α — коэффициент линейного расширения металла;
L — размер элемента, по которому определяется смещение;
$\vartheta_к$ — конечная температура;
$\vartheta_н$ — начальная температура.

Однако расчет по этой формуле резко отличается от действительных значений температурных деформаций. Например, при $\alpha = 11 \cdot 10^{-6}$ (для чугуна), $L = 385$ *мм* (высота центров), $\vartheta_к = 43°$ и $\vartheta_н = 23°$ вертикальное смещение оси шпинделя $\Delta_m = 0{,}085$ *мм*, тогда как действительное его смещение достигало только 0,045 *мм*; при тех же данных, но при $L = 185$ *мм* (расстояние от призматической направляющей до оси шпинделя) получаем по формуле (70) $\Delta_m = 0{,}041$ *мм*, а действительное смещение шпинделя не превышает 0,011 [49]. Такое большое отклонение расчетных и действительных значений температурных деформаций указывает на наличие ряда не учитываемых при расчете факторов, таких, как конструкция корпуса бабки, способ ее крепления на станке, неравномерность ее нагревания и др. Величина температурных деформаций станка зависит от времени его непрерывной работы и от числа оборотов шпинделя Так, например, температурное удлинение шпинделя фрезерного станка Δ_m в *мк* изменялось в зависимости от времени непрерывной работы станка T и числа оборотов шпинделя n [49] следующим образом:

Время работы станка T в мин.	20	40	60
Δ_m в *мк* при $n = 390$ об/мин .	17	19	20
Δ_m в *мк* при $n = 765$ об/мин .	22	27	32

Таким образом, расчет температурных деформаций элементов станка не дает достаточно надежных для практического применения результатов, не может быть определен с требуемой точностью и температурный режим обрабатываемой заготовки. Эксперименты показывают, что при повышении скорости резания температура заготовки понижается; понижается она и при увеличении подачи (кроме диапазона самых малых подач).

С увеличением глубины резания температура заготовки повышается.

При прочих равных условиях температурные деформации заготовки будут тем меньше, чем массивнее деталь.

Наибольшие температурные деформации возникают при обработке тонкостенных деталей с большой глубиной резания.

В начальный период работы температурное удлинение режущего инструмента быстро возрастает, затем резко замедляется и, наконец, стабилизируется. Удлинение режущего инструмента возрастает при повышении скорости резания, подачи, глубины резания и увеличении вылета режущего лезвия. С увеличением сечения режущего инструмента и толщины пластинок твердого сплава температурное удлинение резко уменьшается.

Предел прочности обрабатываемого материала σ_b весьма существенно влияет на температурное удлинение режущего инструмента; при обработке различных марок стали температурное удлинение инструмента увеличивается почти пропорционально значению σ_b.

Обычные методы расчета удлинения λ инструмента по формуле

$$\lambda = \alpha \Delta \vartheta L \qquad (70a)$$

не дают приемлемых для практического применения результатов, по-видимому, в связи с неравномерным нагреванием тела режущего инструмента по его длине и отводом тепла элементами, несущими инструмент. Полученное расчетом удлинение значительно превышает действительное удлинение резца или зуба фрезы. Достаточно надежных методов расчета температурного удлинения режущего инструмента еще не создано, так как в процессе резания происходят весьма сложные явления взаимодействия тепловых потоков, различных по своей напряженности, продолжительности действия и изменяемости. Множество различных и в ряде случаев не связанных между собой какой-либо определенной зависимостью причин, затрудняет создание практических данных по температурному удлинению режущего инструмента.

Из изложенного видно, что температурные явления в технологической системе станок — заготовка — инструмент весьма сложны, а степень их влияния на точность обработки мало изучена.

Практикой выработаны определенные меры снижения влияния температурных деформаций на выдерживаемые размеры. Значительно снижает влияние температурных деформаций технологической системы и особенно инструмента применение смазочно-охлаждающих жидкостей.

Учитывая значительный нагрев заготовки в процессе черновой обработки, обычно не производят чистовую обработку непосредственно после черновой, так как в этом случае возможен выход действительного размера заготовки за пределы наименьшего допускаемого размера после охлаждения обработанной детали.

Нагрев обрабатываемой заготовки, лишенной возможности вследствие закрепления свободно расширяться, вызывает деформации, в результате которых возможны недопустимые погрешности обработки. Следует также иметь в виду, что обработанную заготовку в нагретом состоянии не измеряют, так как это сопряжено с погрешностями обмера.

Влияние температурного удлинения инструмента снижается тем, что выполнение операций обычно протекает при чередовании периодов резания и перерывов. В этих условиях температурные деформации инструмента увеличиваются при обработке первых заготовок, а затем стабилизируются, не достигая значительных величин.

Важным является и то обстоятельство, что влияние температурных деформаций во многих случаях снижается за счет компенсации ее износом установленного на размер инструмента.

Температурные деформации элементов станка также имеют наибольшее значение в первый период работы, а по истечении некоторого времени они стабилизируются.

Стабилизация температурных деформаций создает погрешность, остающуюся постоянной в партии обработанных заготовок, которая может быть учтена в установочном размере.

Чтобы исключить влияние температурных погрешностей до момента стабилизации их величины, в случаях, требующих высокой точности обработки (тонкое шлифование, тонкое растачивание), прибегают к прогреву станка на холостом ходу до начала обработки заготовок. Чтобы избежать неровностей, образующихся на поверхности зубьев зубчатых колес большого диаметра, в результате температурных деформаций системы станок — заготовка — инструмент, полное нарезание их производят без остановки станка, если даже оно длится несколько смен. В большинстве случаев нет необходимости в учете температурных деформаций, так как их доля в общей погрешности обработки, при соблюдении необходимых мер предосторожности, сравнительно не велика.

Г. Расчет суммарной (результативной) погрешности обработки

Заканчивая анализ причин, вызывающих погрешности обработки на предварительно настроенных станках, приходим к выводу, что расчетный допуск на выдерживаемый размер слагается из величин погрешностей, возникающих в процессе обработки в результате ряда причин; эти причины следующие.

1. Нестабильность силы резания вследствие изменений величины срезаемого слоя, отклонений механических свойств обрабатываемого металла в различных партиях заготовок одного типоразмера и затупления режущего инструмента; эта погрешность выражается зависимостью

$$\Delta Y = Y_{max} - Y_{min} = P_{y_{max}} W_{max} - P_{y_{min}} W_{min};$$

значение ΔY характеризует предельную разность отжатий и, следовательно, соответствующее колебание размера.

При обработке нескольких партий заготовок одного типоразмера получаем

$$P_{y_{max}} = C_{y_{max}} t^x_{max} s^y H_{B_{max}};$$

$$P_{y_{min}} = C_{y_{min}} t^x_{min} s^y H^n_{B_{min}},$$

где $H_{B_{max}}$ и $H_{B_{min}}$ — предельные значения твердости по техническим условиям для обрабатываемого металла; при обработке одной партии заготовок отклонениями по твердости можно пренебречь и принять среднее значение твердости партии обрабатываемых заготовок; тогда

$$P_{y_{max}} = C_{y_{max}} t^x_{max} s^y H^n_B;$$

$$P_{y_{min}} = C_{y_{min}} t^x_{min} s^y H^n_B.$$

2. Отклонения размера, возникающие в результате погрешности формы обрабатываемой поверхности, образующейся вследствие геометрических погрешностей станка — $\sum \Delta cm$. Так как погрешности формы обработанной поверхности возникают обычно в результате нескольких геометрических погрешностей станка и неизбежно накладываются одна на другую, то эта составляющая допуска на выдерживаемый размер определяется как арифметическая сумма наибольших отклонений размера, создаваемых погрешностями формы. Эта погрешность суммируется с другими погрешностями арифметически.

3. Погрешность настройки станка ΔH. Эта погрешность сохраняет постоянное значение в партии заготовок, обработанных при неизменной настройке станка. Погрешность настройки не должна превышать установленной величины при обработке как одной, так и нескольких партий заготовок.

4. Размерный износ инструмента Δu, закономерно изменяющий свое значение за период стойкости. Погрешность от износа не должна выходить за установленный предел.

5. Погрешность установки в тех случаях, когда она непосредственно влияет на выдерживаемый размер; в этих случаях, как было сказано, погрешность установки определяется арифметической суммой по формуле (10):

$$\varepsilon_y = \varepsilon_б + \varepsilon_з$$

и представляет собой разность предельных расстояний измерительной базы от установленного на размер режущего инструмента.

6. Температурные деформации элементов технологической системы $\sum \Delta T$, направленные по нормали к обрабатываемой поверхности. Температурные деформации элементов системы могут либо

накладываться одна на другую, либо компенсировать одна другую в той или иной степени, в зависимости от величины и направления деформаций. Поэтому результирующая погрешностей обработки, вызываемых температурными деформациями элементов технологической системы, определяется как алгебраическая сумма (с учетом знака).

Учитывая изложенное, можем написать:

$$\delta \approx \Delta Y + \sum \Delta_{cm} + \Delta H + \Delta u + \varepsilon_y + \sum \Delta T, \qquad (71)$$

где δ — допуск на выдерживаемый размер;

ΔY — предельная разность отжатий в результате нестабильности силы резания;

$\sum \Delta_{cm}$ — арифметическая сумма размерных отклонений вследствие погрешностей формы обработанной поверхности, возникающих в результате геометрических погрешностей станка;

ΔH — погрешность обработки, возникающая вследствие регламентированной погрешности настройки станка;

Δu — приращение выдерживаемого размера вследствие размерного износа инструмента;

ε_y — погрешность установки заготовки для обработки на станке;

$\sum \Delta T$ — алгебраическая сумма размерных отклонений вследствие температурных деформаций элементов технологической системы, направленных по нормали к обрабатываемой поверхности.

Не располагая надежными методами расчета температурных деформаций, мы принуждены ограничиться включением составляющей $\sum \Delta T$ в формулу допуска на выдерживаемый размер лишь в общем виде, не приводя ни рекомендаций, ни нормативных величин.

Проводившиеся в области точности исследования позволяют сделать попутный вывод, что даже при наиболее неблагоприятных условиях обработки (тонкостенные детали, тяжелые режимные условия, плохие условия охлаждения) погрешность за счет температурных деформаций не превышает 15% суммы остальных составляющих допуска.

Таким образом, исключая при практических расчетах допусков на выдерживаемые размеры составляющую $\sum \Delta T$, мы вносим в расчет некоторую дополнительную погрешность.

Формула (71) справедлива при одностороннем снятии стружки.

В тех случаях, когда погрешность установки не имеет места ($\varepsilon_y = 0$), формула (71) принимает вид

$$\delta \approx \Delta Y + \sum \Delta_{cm} + \Delta H + \Delta u + \sum \Delta T \qquad (72)$$

При обработке наружных и внутренних поверхностей вращения (обтачивание, растачивание), а также при параллельной обработке плоских противолежащих поверхностей (параллельная многорезцовая подрезка торцов, параллельное фрезерование противоле-

жащих плоскостей) погрешность установки, как было уже рассмотрено (см. фиг. 22), не влияет на выдерживаемый размер.

Все составляющие допуска определяют погрешности по радиальному размеру (при обработке поверхностей вращения) или на сторону (при параллельной обработке противолежащих плоских поверхностей) и для диаметрального размера или размера между параллельными плоскими поверхностями должны быть удвоены. Таким образом, в этих случаях формула (71) принимает вид

$$\delta \approx 2\,(\Delta Y + \Sigma\Delta_{cm} + \Delta H + \Delta u + \Sigma\Delta T). \qquad (73)$$

Проведенные для проверки расчетных формул (71) и (73) опыты показали хорошую сходимость расчетных и действительных погрешностей обработки [1]. При параллельной подрезке торцов с установкой заготовки в жесткие центры (см. фиг. 20) допуск на размер a определяется по формуле (73), так как погрешность установки не влияет на допуск выдерживаемого размера a; однако она будет влиять на допуск по размеру b, связывающему подрезаемые торцовые поверхности ступени с торцом вала и допуск на размер b определяется по формуле (71).

При установке на плавающий передний центр с базированием по торцу вала (см. фиг. 22), т. е. в случае совмещения установочной и измерительной баз, погрешность установки не имеет места и допуски на размеры a и b определяются по формулам (73) и (72).

В некоторых случаях при малых размерах обрабатываемых поверхностей целесообразно упрощать расчеты, исключая составляющие, вызываемые геометрическими погрешностями станка. Например, можно не учитывать неперпендикулярность торцов ступеней валов с небольшим перепадом диаметров.

При обработке отверстий мерным инструментом (сверление, зенкерование, развертывание, протягивание) получается разбивка отверстий, под которой понимают разность диаметров обработанного отверстия и инструмента. Разбивка отверстий существенно влияет на точность обработки.

Существующие гипотезы различно объясняют возникновение разбивки отверстий.

Считают основной причиной разбивки нарост, образующийся на передней поверхности заборного конуса инструмента, который как полагают, увеличивает диаметр обработанного отверстия и ухудшает чистоту его поверхности.

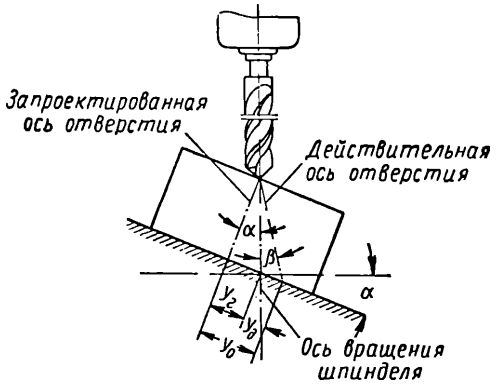
Однако это вызывает возражения у исследователей, установивших экспериментально, что по мере притупления развертки нарост

[1] Проверочные опыты производились: а) при многорезцовом обтачивании ступенчатых валов; отклонения получались в пределах 1—23% (последняя цифра — в единственном случае по одной ступени вала); б) при обработке плоских поверхностей на вертикально-фрезерных станках; отклонения получались от 0 до 16% (последняя цифра — в одном случае); а) при растачивании отверстий на расточном станке; отклонения получались в пределах 3—9%.

увеличивается, а диаметры и чистота поверхности обработанных отверстий остаются приблизительно одинаковыми [4].

Предполагают, что причиной разбивки является металлическая пыль, образующаяся в процессе резания и увеличивающая диаметр отверстия в результате абразивного воздействия на обрабатываемую поверхность.

Это тоже вызывает существенное возражение, так как твердость металлической пыли и обрабатываемой поверхности, получающей дополнительный наклеп от направляющих ленточек инструмента, примерно одного порядка, а твердость направляющих ленточек выше твердости металлической пыли вследствие чего ленточки не могут быть шаржированы ею; таким образом возможность абразивного воздействия исключается [4].



Фиг. 56. Увод оси отверстия вследствие неперпендикулярности поверхности стола оси вращения шпинделя сверлильного станка.

Считают, что разбивка отверстий является результатом износа обрабатываемой поверхности отверстия направляющими ленточками инструмента, малая ширина которых и небольшой зазор исключают наличие масляного клина между поверхностями отверстия и ленточек, которые, следовательно, работают в условиях граничного (полусухого) трения. Таким образом металлическая пыль является продуктом износа и не причиной, а следствием разбивки [4].

На основе этой гипотезы причиной овальности и конусности обработанных отверстий считают перекос осей инструмента и предварительно обработанного отверстия. При этом полагают, что и конусность и овальность являются результатом местного повышенного износа вследствие повышенных удельных давлений ленточек инструмента по нормали к обрабатываемой поверхности [4]

В работах кафедры технологии машиностроения МВТУ им. Баумана высказывалось мнение, по которому разбивка отверстий является результатом геометрических погрешностей станка и инструмента. В частности, вследствие неперпендикулярности поверхности стола к оси вращения шпинделя сверлильного станка получается увод оси отверстия [16]; при этом (фиг. 56)

$$y_0 = y_г + y_д,$$

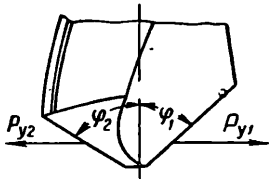
где y_0 — увод оси отверстия;

$y_г$ — геометрический увод в результате неперпендикулярности поверхности стола к оси шпинделя;

$y_д$ — динамический увод, возникающий вследствие воздействия на сверло результирующей радиальных составляющих силы резания (по нормали к обрабатываемой поверхности).

В результате увода имеем перекос осей сверла и обрабатываемого отверстия, вызывающий местное повышение удельных давлений по нормали к обрабатываемой поверхности и, следовательно, геометрические погрешности формы отверстия.

Биение оси шпинделя, а также отклонение оси конического гнезда шпинделя от оси его вращения, по-видимому, можно также рассматривать как причины, вызывающие разбивку отверстия.



Фиг. 57. Нарушение равенства углов наклона режущих кромок к оси сверла.

Вследствие возникшего при заточке нарушения равенства углов наклона режущих кромок к оси сверла φ_1 и φ_2, длины этих кромок получаются неодинаковыми (фиг. 57), что приводит к возникновению результирующей радиальных сил, которая изменяет свое направление при вращении сверла, прижимая его к стенкам отверстия и создавая разбивку отверстия; при этом результирующая радиальных сил [17]

$$\Delta P_р = P_{y_2} - P_{y_1}.$$

Неравенство радиусов зубьев зенкера также вызывает появление результирующей сил, направленных по нормали к обрабатываемой поверхности, изменяющей при вращении свое направление и приводящей к разбивке отверстия [55].

По-видимому, явление разбивки отверстия не может быть объяснено действием отдельных причин, а требует учета всего сложного комплекса действующих факторов.

На допуск выдерживаемого размера влияет не абсолютная величина разбивки отверстия, а разности предельных значений разбивки при обработке отверстий.

Колебание величины разбивки неизбежно по следующим причинам.

При обработке совокупности нескольких партий заготовок приходится менять инструмент, а его диаметральные размеры будут колебаться в пределах допуска на изготовление. Кроме того, обработка будет производиться как новым, так и бывшим в употреблении переточенным инструментом. При каждой заточке инструмента уменьшается его диаметральный размер из-за имеющейся у него обратной конусности. У сверл и зенкеров, в целях увеличения их стойкости и устранения возможности защемления в обрабатываемом отверстии, диаметр инструмента уменьшается к хвостовику на 30—100 *мк* на каждые 100 *мм* длины рабочей части инструмента, в зависимости от диаметра. У разверток делают задний конус, длина которого составляет от 0,25 до 0,5 длины всей калибрующей части [19]. Под размерным износом инструмента понимают не уменьшение

его диаметра на протяжении обработки партии заготовок, а общее уменьшение диаметра инструмента в связи с его износом и заточкой, которое, по опытным данным, можно принимать приблизительно равным $^1/_3$ допуска на размер обрабатываемого отверстия.

Таким образом, допуск на диаметральные размеры обрабатываемых отверстий, предельные диаметральные размеры инструмента и допустимый размерный его износ взаимосвязаны.

Обозначив:

R_{max} и R_{min} — наибольший и наименьший предельные радиальные размеры обработанных отверстий;

r_{max} и r_{min} — наибольший и наименьший предельные радиальные размеры применяемых для обработки инструментов;

Δu — допустимый размерный износ инструмента, отсчитываемый от его наименьшего предельного размера;

δ_u — допуск на диаметральный размер инструмента;

p_1 и p_2 — предельные значения разбивки отверстия при наибольшем и наименьшем (с учетом износа) размерах инструмента, получим (фиг. 58)

$$R_{max} = r_{max} + \frac{p_1}{2};$$

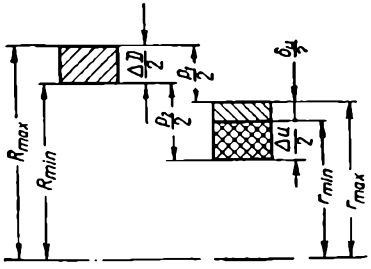
$$R_{min} = r_{min} - \frac{\Delta u}{2} + \frac{p_2}{2},$$

откуда

$$R_{max} - R_{min} = r_{max} + \frac{p_1}{2} - r_{min} + \frac{\Delta u}{2} - \frac{p_2}{2}$$

или

$$\frac{\Delta D}{2} = \frac{\delta_u}{2} + \frac{p_1 - p_2}{2} + \frac{\Delta u}{2}.$$



Фиг. 58. К расчету погрешности обработки отверстий осевым инструментом.

Обозначив разность предельных значений разбивки отверстий в совокупности нескольких партий заготовок

$$p_1 - p_2 = \Delta p,$$

получим

$$\frac{\Delta D}{2} = \frac{\delta_u}{2} + \frac{\Delta p}{2} + \frac{\Delta u}{2}$$

или

$$\Delta D = \delta_u + \Delta p + \Delta u.$$

Переходя от погрешности выдерживаемого размера к допуску по размеру отверстия, отметим, что допуск на диаметральный размер обработанного отверстия δ_D должен быть равен или больше получающейся погрешности Δ_D, т. е.

$$\delta_D \geqslant \delta_u + \Delta p + \Delta u.$$

Предельные значения разбивки в начальный и конечный периоды обработки совокупности нескольких партий заготовок могут быть:

$$1)\ p_1 > p_2;\quad 2)\ p_1 = p_2;\quad 3)\ p_1 < p_2.$$

В первом случае ΔP имеет положительное значение $(+\Delta P)$ и

$$\delta'_D \geqslant \delta_u + \Delta p + \Delta u \tag{74}$$

во втором случае $\Delta P = 0$ и

$$\delta''_D \geqslant \delta_u + \Delta u \tag{75}$$

в третьем случае ΔP имеет отрицательное значение $(-\Delta P)$ и, следовательно

$$\delta'''_D \geqslant \delta_u - \Delta p + \Delta u. \tag{76}$$

При наличии геометрических погрешностей формы отверстия (овальности и конусности) предельные значения разбивки определяются разностью наибольшего размера отверстия и соответствующего размера инструмента, а именно наибольшего d_{max} для p_1 и наименьшего $(d_{min} - \Delta u)$ для p_2.

Из формул (74) — (76) очевидно:

1) не разбивка отверстий, а разность предельных значений разбивки влияет на допуск по размеру отверстия;

2) при равных предельных значениях разбивки она не влияет на допуск по размеру отверстия;

3) наименьшее значение допуска получаем при $p_1 < p_2$; учитывая, однако, что нельзя заранее предвидеть соотношения предельных значений разбивки, следует принимать наибольшее значение допуска по формуле (74).

В ряде случаев разбивка отверстия имеет не положительное, а отрицательное значение, т. е. диаметр обработанного отверстия получается меньше диаметра инструмента.

Отрицательная разбивка образуется, очевидно, в результате температурных деформаций заготовки и инструмента (усадка отверстия больше усадки инструмента при остывании) и упругого восстановления металла заготовки после прохода режущего инструмента (упругое восстановление превышает разность диаметра отверстия и инструмента, имевшую место в процессе резания). Однако отрицательная разбивка не вносит изменений в наши выводы, определяющие погрешность обработки. При отрицательной разбивке величины $(-p_1)$ и $(-p_2)$ могут находиться в тех же соотношениях, как и при положительной разбивке.

Поэтому, произведя аналогичный вывод и приняв

$$p_2 - p_1 = \Delta p,$$

получим

$$\Delta_D = \delta_u + \Delta u + \Delta p$$

т. е. ту же зависимость, что и при положительной разбивке отверстия с той лишь разницей, что при отрицательной разбивке получим наименьшее значение допуска при $p_1 > p_2$, так как в этом случае имеем отрицательную разность предельных значений разбивки ($-\Delta p$), тогда как при положительной разбивке имели отрицательную разность предельных ее значений при $p_1 < p_2$; учитывая, однако, что в случаях отрицательной разбивки нельзя предвидеть соотношение предельных значений разбивки, следует принимать

$$\delta_D \geqslant \delta_u + \Delta p + \Delta u,$$

т. е. зависимость, выраженную формулой (74).

Уместно отметить идентичность формул (73) и (74), учитывая на основании ранее изложенных соображений, что Δp объединяет удвоенное значение ($\Delta Y + \sum\Delta_{cm} + \sum\Delta T$), а δ_u заменяет удвоенное значение ΔH в формуле (73).

В связи с тем что все методы тонкой, а в ряде случаев чистовой и однократной обработки применяются на завершающих технологический процесс операциях, допуски на размеры, получаемые этими методами, должны соответствовать классам точности по системе ОСТ. Таким образом, получая расчетом приближенные значения допусков, следует округлять их до значений ближайшего класса точности системы ОСТ. При черновой и получистовой обработке обычно возникает вопрос не о достижимой точности, а о целесообразной величине назначаемого технологического допуска, обеспечивающего при минимальном числе подналадок станка качественную последующую обработку.

Таким образом, технологические допуски для предварительной обработки целесообразно также приводить к классам точности системы ОСТ, так как в этом случае значительно сокращается номенклатура калибрового хозяйства.

Допуски, по системе ОСТ установлены на размеры готовых деталей, исходя из соответствующих посадок, и связаны определенной закономерностью с диаметральными размерами, независимо от длины детали. Технологические допуски не зависят непосредственно от диаметра и вообще от поперечного размера; эта зависимость является косвенной в связи с тем, что более крупные черные заготовки имеют более значительные производственные погрешности. Жесткость заготовки оказывает значительно большее влияние на точность обработки, чем поперечный размер.

Изложенное положение было проверено экспериментом, проведенным в лаборатории технологии машиностроения МВТУ при обработке жестких заготовок диаметром 36—182 *мм*. Предварительной обработкой были устранены погрешности черных заготовок, а экспериментальная обработка производилась при одинаковых режимах резания ($t = 0{,}5$ *мм*; $s = 0{,}3$ *мм/об*; $v = 55 \div 56$ *м/мин*) и прочих равных условиях. В результате проведенного опыта получили отклонения размеров от 84 до 96 *мк* (в среднем 90 *мк*) для заго-

товок диаметром 182 *мм* и от 72 до 102 *мк* (в среднем 87 *мк*) для заготовок диаметром 36 *мм*; в этих же пределах лежали отклонения всех промежуточных размеров.

Таким образом, влияние диаметрального размера на точность обработки после устранения погрешностей черных заготовок путем соответствующей предварительной обработки не было обнаружено.

В связи с тем что погрешности черных заготовок зависят от их размеров и уменьшаются закономерно при каждом выполняемом технологическом переходе механической обработки, имеется определенная зависимость технологических допусков при механической обработке от промежуточных размеров заготовок, что обусловливает возможность приведения технологических допусков, с некоторым приближением, к системе ОСТ.

При определении ожидаемой точности обработки, на металлорежущих станках исходными являются погрешности черных заготовок, обусловливающие разность глубин резания, влияющую на остаточные погрешности при механической обработке; поэтому переходим к рассмотрению погрешностей черных заготовок.

Производственные погрешности горячекатаной стали возникают от неточности изготовления и износа ручьев прокатных валков, погрешности их наладки, упругих отжатий валков в процессе прокатки и колебаний температуры прокатываемого металла.

Допускаемые отклонения на горячекатаный прокат стандартизованы.

При установлении допусков на размеры заготовок, полученных горячей штамповкой на молотах, нужно учитывать условия получения отдельных размеров.

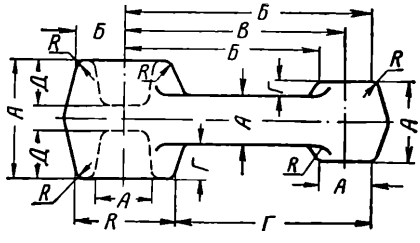
В направлении удара (перпендикулярно плоскости разъема) большое влияние на точность выдерживаемого размера оказывает недоштамповка, поэтому верхнее отклонение задается по величине большим чем нижнее.

В направлении разъема (параллельно плоскости разъема) большое влияние оказывает износ ручья и колебания величины усадки в связи с тем, что размеры по горизонтали обычно значительно больше размеров по вертикали.

Штампованная заготовка копирует форму и размеры окончательного ручья штампа, поэтому при определении допусков на размеры штампованных заготовок необходимо учитывать точность изготовления штампа, принимая во внимание, что в производственных условиях партии заготовок одного типоразмера выполняются не в одном, а в разных штампах.

На основе изложенных соображений приходим к выводу, что существует некоторая аналогия в факторах, влияющих на точность выдерживаемых размеров при штамповке и обработке на станках, а именно: недоштамповка вследствие отдачи падающих частей молота аналогична упругим отжатиям технологической системы, износ штампа — размерному износу инструмента, погрешности формы

вследствие геометрических погрешностей окончательного ручья штампа — погрешностям формы вследствие геометрических погрешностей станка, колебания величины усадки в результате отклонений температурного режима ковки — погрешностям размеров в результате температурных деформаций элементов технологической системы станок — заготовка — инструмент. Погрешность установки не возникает при штамповке, так же как при параллельной обработке противолежащих граней, а погрешность настройки молота не влияет непосредственно на получаемые размеры и формируемые в ручьях штампа очертания заготовки, но влияет на пространственные отклонения, вызываемые смещением штампов.



Фиг. 59. К расчету допусков на размеры штампованных поковок.

Применительно к ГОСТу 7505-55 допуски на размеры штампованых поковок можно определять по нижеуказанным формулам, в которых приняты следующие обозначения:

δ — допуск на размеры штампованной поковки;

$H_{ед}$ — элемент допуска на недоштамповку;

$И_{шт}$ — элемент допуска на износ штампа, включая погрешности обработки окончательного ручья;

$H_{ез}$ — элемент допуска на размер, не зависящий от износа штампов;

$K_{ус}$ — колебание усадки по температурному интервалу штамповки;

B_o — верхнее отклонение;

H_o — нижнее отклонение.

Колебание усадки принимают $\pm 1{,}0$ *мк/мм* (на 1 *мм* измеряемого размера); таким образом

$$K_{ус} = 2L \text{ мк},$$

где L — измеряемый размер в *мм*.

Значения элементов допуска даны в ГОСТе 7505-55, которым предусмотрено четыре группы точности поковок.

Для размеров элементов поковки, где возможна недоштамповка, т. е. для размеров, параллельных направлению удара и перпендикулярных к плоскости разъема штампов, а также для размеров элементов поковки, где имеет место двусторонний износ штампов, т. е. для размеров, параллельных плоскости разъема штампов (размеры A на фиг. 59) допуск определяется по формуле

$$\delta_A = H_{ед} + И_{шт} + K_{ус}; \tag{77}$$

при этом верхнее отклонение (плюс)

$$B_o = H_{ед} + \frac{K_{ус}}{2} \tag{77а}$$

и нижнее отклонение (минус)

$$H_o = И_{шт} + \frac{K_{ус}}{2}. \qquad (77б)$$

В штампованных поковках, имеющих углубления, допуски на глубину и допуски на размеры для внутренних поверхностей (размеры D и A на фиг. 89) определяются по формуле (77), но верхнее отклонение (плюс)

$$B_o = И_{шт} + \frac{K_{ус}}{2}, \qquad (77в)$$

а нижнее отклонение (минус)

$$H_o = H_{ед} + \frac{K_{ус}}{2}. \qquad (77г)$$

Допуски, подсчитанные по формуле (77), для размеров, параллельных плоскости разъема штампов, получаются с определенным запасом, так как при недоштамповке происходит увеличение наружных и уменьшение внутренних размеров, параллельных плоскости разъема штампов, выражающиеся, в зависимости от штамповочных уклонов, десятыми долями величины недоштамповки, тогда как в формуле (77) недоштамповка учитывается полностью.

Для размеров, обусловливающих односторонний износ штампов и параллельных плоскости разъема (размеры $Б$ на фиг. 59), влияние недоштамповки и износа штампов значительно уменьшается и допуски определяются (также с запасом) по формуле

$$\delta_Б = \frac{H_{ед} + И_{шт}}{2} + K_{ус}; \qquad (78)$$

при этом верхнее отклонение (плюс)

$$B_o = \frac{H_{ед}}{2} + \frac{K_{ус}}{2}, \qquad (78а)$$

а нижнее отклонение (минус)

$$H_o = \frac{И_{шт}}{2} + \frac{K_{ус}}{2}. \qquad (78б)$$

Для внутренних поверхностей в этом случае (размеры $Б$ на фиг. 59) допуски определяются по формуле (78), но верхнее отклонение (плюс)

$$B_o = \frac{И_{шт}}{2} + \frac{K_{ус}}{2}, \qquad (78в)$$

а нижнее отклонение (минус)

$$H_o = \frac{H_{ед}}{2} + \frac{K_{ус}}{2}. \qquad (78г)$$

Для размеров, определяющих расстояние между осями бобышек или другими элементами, не выходящими к периферии поковок

(размеры *В* на фиг. 59), а также для размеров, связывающих элементы поковок, выходящие к периферии, но обусловливающие односторонний по направлению и равномерный износ штампа (размеры *Г* на фиг. 59), т. е. для размеров, не зависящих от износа штампов, допуск определяется по формуле

$$\delta_{ВГ} = H_{ез} + K_{ус}; \tag{79}$$

при этом верхнее отклонение (плюс)

$$B_o = \frac{H_{ез} + K_{ус}}{2} \tag{79а}$$

и нижнее отклонение (минус)

$$H_o = \frac{H_{ез} + K_{ус}}{2}. \tag{79б}$$

При малой величине отклонений, рассчитанных по формуле (79), допускается их увеличение: в штампованных поковках первой и второй группы точности до $\pm$ 0,7 *мм* и в штампованных поковках третьей группы точности до $\pm$ 1,0 *мм*.

Суммарные значения расчетных допусков округляют с точностью до 0,1 *мм* для первой и второй групп и с точностью до 1,0 *мм* для третьей группы точности штампованных поковок. Четвертая группа точности штампованных поковок предусматривает последующую их чеканку; для этой группы поковок допуски для размеров в направлении движения ползуна пресса установлены от 0,16 до 0,63 *мм* в зависимости от площади поверхности, подвергаемой чеканке; в направлении, перпендикулярном к движению ползуна пресса; верхнее отклонение (плюс) не должно превышать удвоенной, а нижнее отклонение (минус) одинарной величины отклонений размера до чеканки.

Уместно отметить, что при штамповке на кривошипных прессах в связи с отсутствием ударов при работе, и, следовательно, меньшей вероятностью расстройства крепления штампов и направления ползуна, а также в связи с лучшим направлением и фиксированным нижним положением верхнего штампа недоштамповка возможна только на величину упругих деформаций системы пресс-штамп.

При литье в металлические формы допуски отливок могут быть определены по формулам:

На размеры, перпендикулярные к плоскости разъема формы,

$$\delta' = S_p + И'_ф + K_{ус}, \tag{80}$$

где δ' — допуск на размер, перпендикулярный к плоскости разъема формы;

S_p — зазор, возникающий по плоскости разъема под воздействием давления жидкого металла (порядка 0,03 *мм*);

$И'_ф$ — допустимый износ формы, включая допуск на размер по глубине оформляющих элементов формы;

$K_{ус}$ — колебание величины усадки литейного сплава.

На размеры, параллельные плоскости разъема формы,

$$\delta'' = И''_{ф} + K_{ус}, \qquad (81)$$

где δ'' — допуск на размер, параллельный плоскости разъема формы;

$И''_{ф}$ — допускаемый износ формы, включая допуск на горизонтальные размеры оформляющих элементов формы;

$K_{ус}$ — колебание величины усадки литейного сплава.

При литье в земляные формы на допуски по размерам литых заготовок оказывают влияние точность изготовления моделей и стержневых ящиков, поднятие верхней опоки гидростатическим давлением жидкого металла, износ моделей и стержневых ящиков, колебание величины усадки литейного сплава, деформации земляной формы при извлечении модели и заливке жидкого металла.

Допускаемые отклонения на размеры отливок из серого чугуна и фасонных стальных отливок установлены соответственно ГОСТами 1855-55 и 2009-55.

Д. Пространственные отклонения взаимосвязанных элементов заготовок и деталей машин

Пространственные отклонения у заготовок и деталей машин не связаны с допуском на выдерживаемый размер, а имеют самостоятельное значение и оговариваются на чертежах особо.

Основными причинами, вызывающими пространственные отклонения, являются; а) остаточные деформации заготовок и готовых деталей машин; б) геометрические погрешности станков, на которых производится обработка заготовок; в) штамповочные и формовочные уклоны; г) смещение штампов и опок.

Остаточные деформации получаются главным образом в результате внутренних напряжений, возникающих при неравномерном остывании черных заготовок и при термообработке, когда неравномерность нагрева и охлаждения деталей приводит к образованию термических напряжений, а неравномерность структурных превращений во времени и по сечению данной детали вызывает структурные напряжения. Остаточные деформации получаются также в результате перераспределения внутренних напряжений, вызываемого удалением слоя заготовки при обработке снятием стружки, особенно при черновых операциях. Для уравновешивания внутренних напряжений прибегают к так называемому вылеживанию деталей между черновой и чистовой ее обработкой, т. е. к естественному старению. Так как процесс естественного старения протекает весьма медленно, то его заменяют искусственным старением, которое заключается в соответствующей термической обработке заготовки.

Деформации под влиянием перераспределения внутренних напряжений при чистовой обработке деталей, подвергавшихся старению, ничтожно малы и ими без ущерба для точности расчета можно пренебречь.

Пространственные отклонения черных заготовок закономерно уменьшаются при обработке в условиях упругой системы станок — заготовка — инструмент; они достаточно ощутимы после черновой обработки и становятся ничтожно малыми после чистовой обработки.

Таким образом, пространственные отклонения в результате деформаций и закономерного уменьшения погрешностей при каждом выполняемом переходе следует учитывать:

1) у черных заготовок (под первый технологический переход обработки резанием);

2) после черновой и получистовой обработки лезвийным инструментом (под последующий технологический переход);

3) после термической обработки, если даже перед термообработкой деформация не возникла.

Следует, однако, иметь в виду, что нежесткие детали машин деформируются даже после окончательной обработки.

Пространственные отклонения, вызываемые геометрическими погрешностями станка, могут встречаться не только на черновых, но также и на всех последующих операциях до конечной стадии обработки.

Качественная и количественная характеристики пространственных отклонений зависят в основном от конфигурации и размерных соотношений заготовок и деталей. С методической точки зрения можно ограничиться рассмотрением двух основных групп деталей машин, общих для различных отраслей машиностроения.

Первая группа — детали вращения, ограниченные наружными, внутренними и торцовыми поверхностями вращения.

Вторая группа — плоскостные детали, характеризующим признаком которых являются плоские сборочные базы и основные отверстия; обычно эти детали имеют крепежные отверстия, оси которых перпендикулярны основным плоскостям детали.

Переходим к качественной характеристике пространственных отклонений [1].

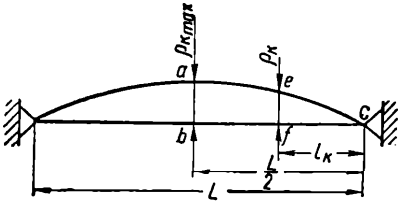
Первая группа деталей

Наиболее характерными представителями этой группы деталей являются валы, которым присущи следующие пространственные отклонения: для внешних поверхностей вращения — кривизна $\rho_к$ и отклонение от соосности ступеней вала $\rho_{ст}$, для торцовых поверхностей валов с фланцами и буртами — отклонение от перпендикулярности торцовых поверхностей к оси вала $\rho_п$, для отверстий полых валов — увод оси отверстия $\rho_{ув}$.

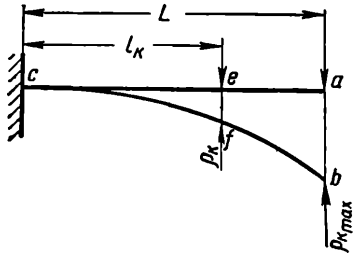
Кривизна черной заготовки вала получается главным образом в результате ее неравномерного остывания.

[1] Данные для количественной оценки пространственных отклонений имеются в справочнике «Технолога машиностроителя», т. 1, стр. 66—89, Машгиз, 1956.

В процессе механической обработки, в результате закономерного уменьшения погрешности черной заготовки имеет место остаточная кривизна; помимо того, кривизна возникает вновь вследствие перераспределения внутренних напряжений в связи с удалением верхних напряженных слоев металла.



Фиг. 60. К расчету кривизны вала, установленного в центрах.



Фиг. 61. К расчету кривизны при консольном креплении вала.

С достаточной для практических целей точностью можно принять наибольшую кривизну $\rho_{\kappa_{max}}$ в среднем сечении вала; тогда имеем

$$\rho_{\kappa_{max}} = \Delta_\kappa L, \tag{82}$$

где Δ_κ — удельная кривизна в *мк/мм*;
L — общая длина вала в *мм*.

Из фигур *abc* и *efc* (фиг. 60) для заготовки, имеющей кривизну и установленной в центрах, приближенно получаем

$$ab \quad ef = \frac{L}{2} : l_\kappa$$

или

$$\frac{\rho_{\kappa_{max}}}{\rho_\kappa} = \frac{L}{2l_\kappa}$$

Подставляя значение $\rho_{\kappa_{max}}$ получим

$$\frac{\Delta_\kappa L}{\rho_\kappa} = \frac{L}{2l_\kappa},$$

откуда

$$\Delta_\kappa L 2l_\kappa = \rho_\kappa L$$

или

$$\rho_\kappa = \Delta_\kappa 2l_\kappa, \tag{83}$$

где l_κ — расстояние от сечения, для которого определяется кривизна, до ближайшего торца; при этом $l_\kappa \leqslant \frac{L}{2}$.

При консольном креплении заготовки (фиг. 61) приближенно имеем

$$\frac{\rho_{\kappa_{max}}}{\rho_\kappa} = \frac{L}{l_\kappa};$$

подставляя значение $\rho_{к_{max}}$, получим

$$\frac{\Delta_к L}{\rho_к} = \frac{L}{l_к},$$

откуда

$$\Delta_к L_к = \rho_к L$$

или

$$\rho_к = \Delta_к l_к, \tag{84}$$

где $l_к$ — расстояние от сечения, для которого определяется кривизна, до опоры; при этом $l_к \leqslant L$.

Отклонение от соосности ступеней черной заготовки, возникающее в результате погрешностей ковки, штамповки или литья, значительно уменьшается после черновой обработки и практически почти ликвидируется после чистовой обработки.

Неперпендикулярность торцовых поверхностей к оси вала у черных заготовок является следствием штамповочных уклонов (или скоса отруба при свободной ковке). Эта погрешность закономерно уменьшается при последующей обработке. Однако при отрезке заготовок и обработке торцов на металлорежущих станках это пространственное отклонение возникает в результате неперпендикулярности движения подачи к оси вращения заготовки; в частности, например, по нормам точности станков, вышедших из ремонта, допускается неперпендикулярность направляющих суппорта к оси вращения шпинделя на радиусе 300 *мм* (допускается только вогнутость) до 0,03 *мм*, что может дать отклонение от перпендикулярности подрезаемого или обтачиваемого торца 0,1 *мк* на 1 *мм* радиуса торцовой поверхности. При подрезке торцов ступеней с небольшим перепадом их диаметров неперпендикулярностью торцов (как уже указывалось) можно пренебречь.

Увод оси отверстия от оси заготовки происходит в результате неперпендикулярности направления подачи сверла к входной поверхности (к торцу вала) вследствие погрешностей во взаимном положении элементов станка или неперпендикулярности торца к оси вала; неравенства радиальных сил резания вследствие различной длины режущих кромок сверла в металле при врезании (вследствие неправильной заточки сверла или в связи с неперпендикулярностью направления подачи сверла к входной поверхности); упругих отжатий узлов станка под действием осевых сил резания. Увод оси уменьшается с увеличением диаметра отверстия.

Другим деталям первой группы присущи следующие пространственные отклонения:

1 Неперпендикулярность торцовых поверхностей к оси детали у черных заготовок, являющаяся следствием штамповочных и формовочных уклонов, закономерно уменьшается при последующей механической обработке Вместе с тем неперпендикулярность возникает при торцовом обтачивании и подрезке торца в результате

геометрических погрешностей станка; при этом допускается только вогнутость. Величина отклонения от перпендикулярности ($\rho_п$ в *мк*) в этом случае определяется по формуле

$$\rho_п = \Delta_п (R - r), \tag{85}$$

$\Delta_п$ — удельная неперпендикулярность в *мк/мм* (0,1 *мк* на 1 *мм* радиуса);

R — радиус наружной поверхности заготовки в *мм*;

r — радиус центрального отверстия или внутренней поверхности в *мм*.

2. Смещение и увод оси отверстия или внутренней поверхности относительно оси наружной поверхности, имеющие место в заготовках и закономерно уменьшающиеся при последующей обработке.

3. Отклонение от соосности ступеней при наличии их у обрабатываемых заготовок.

У втулок и гильз (в особенности у тонкостенных) неперпендикулярностью торцовых поверхностей в ряде случаев можно пренебречь. Основным пространственным отклонением для этих деталей является эксцентричность отверстия относительно наружной поверхности.

Для дисков неперпендикулярность торцовых поверхностей к. оси детали является основным пространственным отклонением вследствие развитых торцовых поверхностей. Вместе с тем решающее значение имеет смещение и увод оси отверстия, создающие эксцентричность отверстия относительно наружной поверхности и вызывающие радиальное и осевое биение детали. Для ступенчатых деталей имеет существенное значение отклонение от соосности ступеней.

Вторая группа деталей

Для планок, реек и других подобных деталей пространственными отклонениями являются: кривизна, встречающаяся как у черных заготовок, так и в процессе механической обработки, особенно у длинных планок и реек, в результате отклонения от прямолинейности направляющих, по которым перемещается стол строгального или фрезерного станка; неперпендикулярность и вообще отклонение от заданного углового положения плоских поверхностей детали, возникающие как в процессе выполнения заготовки, так и в процессе механической обработки вследствие геометрических погрешностей станка.

У брусков также может встречаться кривизна, но влияние ее на последующую обработку снижается вследствие небольшой длины детали относительно других ее размеров. Отклонение от заданного углового положения плоских поверхностей сохраняет для брусков то же значение, что и для планок.

Для определения кривизны планок используется формула (82):

$$\rho_к = \Delta_к L.$$

Плиты подвержены короблению, под которым понимается кривизна по длине и ширине заготовки; с достаточной для практических целей точностью величину коробления $\rho_{кор}$ заготовок для этих деталей можно определить по формуле

$$\rho_{кор} = \Delta_{кор} L, \tag{86}$$

где $\Delta_{кор}$ — удельная величина коробления в *мк/мм*;

L — длина заготовки в *мм*.

Коробление закономерно уменьшается при последующей механической обработке. Наряду с короблением в ряде случаев имеет значение отклонение от заданного углового положения основных плоских поверхностей плит.

У корпусов, угольников, балок пространственными отклонениями в отношении плоских поверхностей являются их непараллельность или неперпендикулярность, как результат погрешностей во взаимном положении рабочих элементов станка в процессе обработки. В отношении основных, а также крепежных отверстий имеют место смещение и увод их осей. Эти детали деформируются в результате перераспределения внутренних напряжений, в особенности после черновой обработки, что вызывает остаточные пространственные отклонения.

§ 4. ОСОБЕННОСТИ РАСЧЕТА ПОГРЕШНОСТЕЙ ОБРАБОТКИ ПРИ СПОСОБЕ ИНДИВИДУАЛЬНОГО ПОЛУЧЕНИЯ РАЗМЕРОВ

Причины, вызывающие погрешности обработки при способе индивидуального получения заданных размеров. Расчет суммарной (результативной) погрешности. Определение величин, составляющих суммарную погрешность. Причины, вызывающие производственные погрешности черных заготовок, полученных свободной ковкой и литьем в земляные формы ручной формовки. Пространственные отклонения при обработке единичных заготовок.

Анализ факторов, вызывающих погрешности обработки при способе автоматического получения заданных размеров, может быть использован при решении вопроса о точности обработки способом индивидуального получения размеров, с учетом, однако, некоторых особенностей этого способа.

В процессе обработки единичных заготовок способом индивидуального получения заданных размеров также наблюдается закономерное уменьшение погрешностей черной заготовки с каждым переходом в зависимости от режимных условий обработки и податливости технологической системы станок — заготовка — инструмент. Предварительной обдиркой, которая часто применяется при способе индивидуального получения заданных размеров, значительно снижается влияние погрешностей формы и пространственных отклонений черной заготовки на точность; однако эти погрешности остаются еще достаточно ощутимыми при черновых и получистовых операциях обработки и должны учитываться при определении суммарной погрешности.

Погрешность ΔY от колебания отжатий в упругой системе станок—заготовка — инструмент на участке пробных проходов может быть устранена корректировкой положения инструмента после пробных промеров. Но после установки инструмента на выдерживаемый размер в каждом сечении по длине заготовки оказывают влияние фактические отжатия в этих сечениях.

Погрешность установки заготовки для обработки способом индивидуального получения размеров определяется, как известно, погрешностью ее выверки, которая и учитывается при определении суммарной (результативной) погрешности.

В связи с тем, что при пробных проходах промеры делаются от измерительной базы, величина погрешности выверки определяется разностью расстояний измерительной базы от установленного на стружку инструмента; эта разность возникает как в результате неточности выверки, так и от неравномерной осадки вследствие неравномерности зажима в отдельных точках.

Погрешность установки заготовки с выверкой ε_B в значительной степени зависит от производственных навыков рабочего, производящего установку, и принимается на основании опытных данных.

В тяжелом машиностроении принимают: а) погрешность установки заготовки с выверкой по разметке от $\pm$ 0,5 до $\pm$ 1,5 *мм*, б) погрешность установки с выверки по обработанной поверхности от $\pm$ 0,1 до $\pm$ 0,3 *мм*, в) погрешность установки с выверкой по черной поверхности от $\pm$ 1,5 до $\pm$ 3,0 *мм*, в зависимости от размеров заготовки [1].

При установке режущего инструмента на глубину путем пробных проходов и промеров возникает погрешность, связанная с неточностью измерений, так называемая п о г р е ш н о с т ь п р о м е р а, аналогичная погрешности настройки станка при способе автоматического получения размеров.

Величина погрешности промера Δn зависит от метода измерения и применяемых измерительных инструментов. В частности, для размеров от 50 до 500 *мм* погрешности измерений колеблются в пределах 6—300 *мк* в зависимости от вида измеряемой поверхности и применяемого инструмента [43]. Для получаемого размера имеет значение погрешность промера на последнем пробном проходе.

Приращение выдерживаемого размера Δu вследствие размерного износа режущего инструмента ощутимо при обработке крупногабаритных заготовок, однако, на протяжении лишь одного прохода инструмента, так как при следующем проходе инструмент вновь устанавливается на требуемый размер. При незначительных размерах обрабатываемых поверхностей размерным износом пренебрегают.

Погрешности формы обработанной заготовки, возникающие вследствие геометрических погрешностей станка $\Sigma\Delta_{cm}$, определяются

[1] См. приложение 2.

и учитываются при расчете суммарной погрешности так же, как при обработке способом автоматического получения размеров.

Температурные деформации элементов технологической системы станок — заготовка — инструмент могут влиять на точность выдерживаемого размера в связи с пробными проходами и промерами только в пределах каждого прохода режущего инструмента. При этом влияние температурных деформаций может быть в значительной степени ослаблено путем корректировки положения инструмента при температурных деформациях в тех случаях, когда они достигают значительных величин. Поэтому температурные деформации при обработке способом индивидуального получения размеров в ряде случаев можно не учитывать.

Погрешность выдерживаемого размера при обработке способом индивидуального получения заданных размеров может быть определена в общем виде аналогично формуле (71):

$$\Delta\delta \approx \Delta Y + \sum\Delta_{cm} + \Delta n + \Delta u + \varepsilon_B + \sum\Delta T, \qquad (87)$$

где $\Delta\delta$ — суммарная погрешность выдерживаемого размера при данном проходе инструмента;

ΔY — разность предельных отжатий упругой системы станок — заготовка — инструмент в результате нестабильности силы резания и податливости системы при данном проходе инструмента;

$\sum\Delta_{cm}$ — арифметическая сумма размерных отклонений, возникающих вследствие погрешностей формы обработанной поверхности, вызываемых геометрическими погрешностями станка;

Δn — отклонение размера в связи с погрешностью промера на последнем пробном проходе;

Δu — приращение выдерживаемого размера в результате размерного износа режущего инструмента при каждом его проходе;

ε_B — погрешность выверки при установке заготовки для сбработки на станке;

$\sum\Delta T$ — алгебраическая сумма (с учетом знака) размерных отклонений, вызываемых температурными деформациями элементов технологической системы, направленных по нормали к обрабатываемой поверхности.

При обработке поверхностей вращения, как нам уже известно, погрешность выверки ε_B не влияет на выдерживаемый размер; в этом случае формула (87) принимает вид

$$\Delta\delta \approx 2(\Delta Y + \sum\Delta_{cm} + \Delta n + \Delta u + \sum\Delta T). \qquad (88)$$

При обработке пробными проходами относительно небольших поверхностей единичной заготовки, можно пренебречь размерным

износом инструмента и температурными деформациями; в этих случаях формула (88) принимает вид

$$\Delta\delta \approx 2(\Delta Y + \sum \Delta_{cm} + \Delta n).$$

Обработка отверстий мерным инструментом в единичных заготовках происходит способом автоматического получения размера, и все выводы, связанные с обработкой отверстий мерным инструментом, сохраняют силу для единичных заготовок.

На погрешности формы, получившиеся в результате упругих отжатий элементов технологической системы, накладываются отклонения формы, возникающие вследствие геометрических погрешностей станка; например, непараллельность направляющих станины и оси шпинделя в горизонтальной плоскости дает конусность с увеличением диаметра по направлению к передней бабке и в определенной степени уменьшает погрешность формы, вследствие упругих отжатий при $W_{пб} < W_{зб}$; при этом непараллельность направляющих станины и оси шпинделя в вертикальной плоскости даст свои искажения формы, а эллиптичность опорных шеек шпинделя передней бабки наложит на обработанную поверхность свою овальность. Следует иметь в виду то обстоятельство, что соответствующим смещением задней бабки при настройке станка для обработки в центрах можно избежать возникновения конусности.

Надо отметить высокую точность обработки, достигаемую при способе индивидуального получения заданных размеров. В частности при обтачивании тяжелых валов диаметром 800—1000 *мм* диаметральные размеры выдерживаются с погрешностью $\Delta\delta = 0{,}02 \div 0{,}04$ *мм*, а длина шеек — с погрешностью $\Delta\delta = 0{,}05 \div 0{,}2$ *мм*.

Пространственные отклонения таких валов выдерживаются в пределах: кривизна оси вала на 1 *м* длины в пределах 0,005—0,01 *мм*, соосность шеек валов в пределах 0,01—0,02 *мм*; эксцентричность центрирующих буртиков относительно опорных шеек не больше 0,03 *мм*; торцовое биение фланца на плече 1000 *мм* в пределах 0,025—0,050 *мм*.

При обработке способом индивидуального получения заданных размеров широко пользуются установкой режущего инструмента на выдерживаемый размер по лимбу, достигая при этом высокой точности установки инструмента на рабочий проход.

Черные заготовки для обработки способом индивидуального получения заданных размеров выполняются обычно свободной ковкой или литьем в земляные формы ручной формовки.

Погрешности размеров и геометрических форм черных заготовок при свободной ковке зависят от конфигурации, размеров и веса заготовок, а также от производственных навыков кузнеца.

В ГОСТе 7062-54 установлены допуски для поковок из углеродистой и легированной стали, изготовляемых свободной ковкой на прессах.

На точность выполнения заготовок, отлитых в земляные формы ручной формовки, влияет точность изготовления моделей и стержневых ящиков, степень расталкивания модели при извлечении из формы, поднятие верхней опоки гидростатическим давлением жидкого металла, раздутие формы, неравномерность остывания элементов отливки, колебание величины усадки литейного сплава.

Модели и стержневые ящики выполняются по 4, 5 и 7-му классам точности по системе ОСТ.

Величина расталкивания модели при ручной формовке зависит от размеров моделей и колеблется от 0,5 до 5 *мм*, а в отдельных случаях и более. Это учитывается при изготовлении модели путем соответствующего уменьшения ее размеров; однако предусмотренная при изготовлении модели величина расталкивания не совпадает точно с действительным расталкиванием при формовке, что и ведет к отклонению размеров.

Величина поднятия опоки гидростатическим давлением жидкого металла зависит от способа крепления опок или от веса груза, положенного на верхнюю опоку; поэтому отклонения размеров отливки в направлении, перпендикулярном плоскости разъема формы, бывают обычно больше отклонений в направлении, параллельном этой плоскости. У деталей с массивными вертикальными стенками при отливке в сырую форму может произойти раздутие стенок и отклонение размеров отливки от заданных.

Неравномерное остывание отдельных частей отливки вследствие нерациональной ее конструкции ведет к изменению размеров и конфигурации под влиянием усадочных напряжений.

При изготовлении моделей усадка литейного сплава учитывается в их размерах. Однако в результате допустимых отклонений в химическом составе сплава и колебаний температуры жидкого металла при заливке возникает колебание усадки и вследствие этого отклонения в размерах отливок. В связи с формовочными уклонами получается искажение формы по вертикальным стенкам отливки.

Некоторое искажение формы отливки получается также в связи со смещением опок в результате износа их штырей и втулок.

Пространственные отклонения при обработке единичных заготовок характеризуются теми же признаками и причинами, которые были изложены применительно к способу автоматического получения размеров.

§ 5. СТАТИСТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ТОЧНОСТИ ОБРАБОТКИ

Сущность метода кривых распределения и область его применения. Кривые распределения размеров. Влияние систематических погрешностей на форму кривой распределения и ее положение по оси абсцисс. Характеристика кривой Гаусса. Среднее арифметическое значение. Среднее квадратическое отклонение и размах распределения размеров. Вероятность получения действительных значений выдерживаемого размера в границах принятых отклонений для партии заготовок. Методы точечных диаграмм и области их применения.

Статистический метод кривых распределения, применяемый для исследования точности обработки, основан на выводах теории вероятностей и математической статистики. Этот метод применим в условиях производства большого количества однородных деталей на предварительно настроенных станках способом автоматического получения размеров.

При статистических методах исследования точности обработки различают так называемые случайные погрешности и систематические погрешности.

Случайные погрешности возникают от действия множества различных не связанных между собой какой-либо зависимостью причин, каждая из которых вместе с тем может влиять на появление или непоявление той или иной погрешности обработки.

Систематические погрешности возникают от действия вполне определенных причин и остаются постоянными или закономерно изменяют свое значение в партии обработанных заготовок.

В результате случайных погрешностей происходит рассеивание размеров в партии заготовок или деталей, обработанных при неизменных условиях. Одновременно, однако возникают и систематические погрешности, что затрудняет оценку полученных исследованием результатов. Наглядность при обработке результатов наблюдений дает построение кривых распределения действительных размеров.

Для построения кривой распределения производится обмер партии деталей по интересующему размеру. Чтобы избежать влияние систематических погрешностей, обмер делается в определенном сечении при соблюдении постоянства условий обмера.

Полученные данные располагают восходящим рядом чисел (табл. 1) и разбивают их на группы в соответствии с установленным интервалом размеров. Далее определяется абсолютная и относительная частота появления размеров в пределах установленного интервала. Абсолютная частота определяется количеством деталей (или заготовок), находящихся в данном интервале размеров. Относительная частота (частость) есть отношение количества m к общему

Таблица 1

Запись результатов обмера партии деталей по одному параметру в *мм*

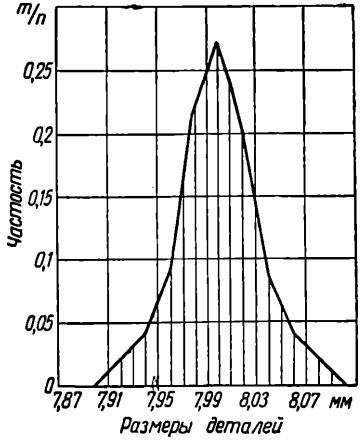
7,920	7,935	7,940	7,957	7,960	7,965
7,970	7,970	7,972	7,975	7,975	7,980
7,980	7,982	7,985	7,985	7,988	7,988
7,990	7,991	7,992	7,992	7,994	7,995
7,995	7,998	8,000	8,000	8,002	8,004
8,005	8,007	8,010	8,012	8,015	8,017
8,018	8,022	8,022	8,024	8,024	8,027
8,030	8,040	8,040	8,045	8,048	8,065
8,068	8,080				

Таблица 2

Частота и частость размеров в партии деталей (по одному параметру)

Интервалы	Абсолютная частота m	Относительная частота (частость) $m : n$
Св. 7,910 до 7,930	1	0,02
7,930 „ 7,950	2	0,04
7,950 „ 7,970	5	0,10
7,970 „ 7,990	11	0,22
7,990 „ 8,010	14	0,28
8,010 „ 8,030	10	0,20
8,030 „ 8,050	4	0,08
8,050 „ 8,070	2	0,04
8,070 „ 8,090	1	0,02
	$\sum m = n = 50$	$\sum m : n = 1.00$

количеству n деталей исследуемой партии. Полученные данные записываются в табл. 2. Откладывая по оси абсцисс размеры деталей, а по оси ординат — частость для каждого интервала размеров и соединяя полученные точки прямыми, получим ломаную линию, которая по мере увеличения количества деталей в партии и числа интервалов (т. е. сужения каждого интервала) будет приближаться к плавной кривой (фиг. 62).

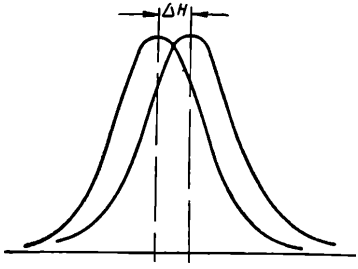


Фиг. 62. Построение кривой распределения размеров.

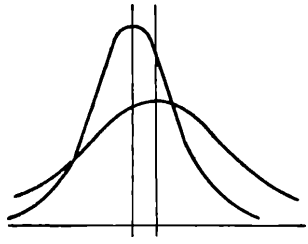
Постоянная в пределах партии систематическая погрешность (например, погрешность настройки станка) не влияет на форму кривой, но смещает кривую по оси абсцисс. Переменная систематическая погрешность, закономерно изменяющая свое значение в партии деталей (например, погрешность обусловленная износом инструмента), окажет влияние на форму кривой вследствие увеличения размаха распределения размеров (т. е. разности между наибольшим и наименьшим из наблюденных размеров), определяющего расстояние по оси абсцисс между крайними наблюдениями. Иллюстрируем это примерами.

Если обработать партию заготовок при одной настройке станка, а затем такую же партию в аналогичных условиях, но при второй

настройке станка, и построить кривые распределения размеров для обеих партий, то получим, очевидно, две одинаковые кривые, которые, однако, будут смещены одна относительно другой по оси абсцисс на величину ΔH, характеризующую разницу в положении установленного на размер инструмента в первом и во втором случае (фиг. 63). Отклонение в положении установленного на размер инструмента, а также допуски на размеры мерного инструмента (сверл, зенкеров, разверток, протяжек, пазовых фрез и т. п.), представляют собой погрешность настройки станка и являются систематическими погрешностями.



Фиг. 63. Смещение кривой распределения вследствие погрешности настройки станка.



Фиг. 64. Изменение формы кривой распределения вследствие размерного износа инструмента.

Если обработать большую партию заготовок при неизменной настройке станка и построить кривые распределения размеров — одну для части партии, состоящей из заготовок, обработанных в начале опыта при незначительном еще износе инструмента, а вторую для всей партии, включая и первую ее часть, то, сопоставляя эти кривые, убедимся в различии их форм вследствие различного размаха варьирования размера, обусловленного различной величиной размерного износа режущего инструмента (фиг. 64).

Кривые распределения размеров заготовок, обработанных при различных настройках станка или обмеренных не в одном сечении (в особенности для нежестких деталей), получаются многовершинными.

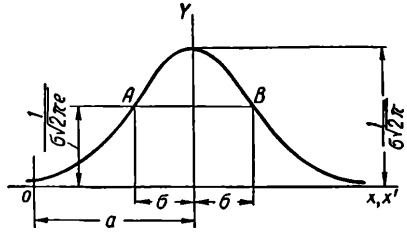
Характеризовать степень точности обработки на основании многовершинных кривых затруднительно; поэтому следует определять отдельно рассеяние размеров заготовок, обработанных при неизменной настройке станка и обмеренных по определенному сечению, и отдельно систематические погрешности, характеризуемые смещением кривых по оси абсцисс.

Математическая статистика пользуется различными законами распределения случайных величин, выражаемыми различными кривыми распределения. При исследовании точности получаются кри-

вые распределения размеров также различного вида. Однако при механической обработке заготовок деталей машин на предварительно настроенных станках методом автоматического получения размеров получаются кривые распределения, которые в подавляющем большинстве случаев приближаются к кривым нормального распределения.

Точность выполнения заготовок способом автоматического получения размеров, как показали исследования, также подчиняется в большей или меньшей степени закону нормального распределения.

Кривая, характеризующая закон нормального распределения (закон Гаусса), показана на фиг. 65. Она имеет выпуклую форму с округленной вершиной; на некотором расстоянии от вершины кривая имеет с каждой стороны по точке перегиба (A и B на фиг. 65), за которыми кривая обращена выпуклостью книзу и приближается асимптотически к оси абсцисс (при $x \to \pm \infty$, $y \to 0$). Кривая нормального распределения (кривая Гаусса) определяется функцией



Фиг. 65. Кривая нормального распределения.

$$y = \varphi(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-a)^2}{2\sigma^2}} \tag{89}$$

где σ — среднее квадратическое отклонение аргумента, т. е. квадратный корень из средней арифметической квадратов всех отклонений;

e — основание натуральных логарифмов;

a — мода кривой, т. е. значение абсциссы x, соответствующее вершине кривой y_{max}; параметр a является центром распределения или центром группирования значений аргумента; вместе с тем, параметр a является средней арифметической распределения (средней распределения).

Отметим некоторые другие свойства кривой нормального распределения: она симметрична относительно прямой, перпендикулярной оси абсцисс при $x = a$; ордината y_{max} вершины кривой определяется выражением

$$y_{max} = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \approx 0{,}4\,\frac{1}{\sigma};$$

абсциссы точек перегиба кривой

$$x_A = a - \sigma \text{ и } x_B = a + \sigma;$$

ординаты точек перегиба кривой

$$y_A = y_B = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi e}} = \frac{y_{max}}{\sqrt{e}} \approx 0{,}6y_{max}.$$

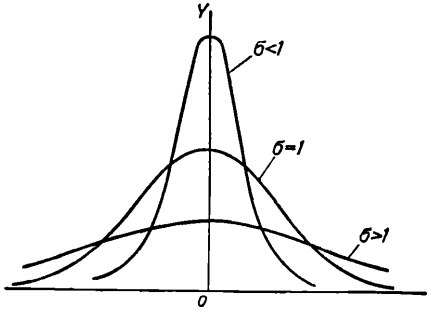
Преобразованием $x = x' + a$ уравнение кривой приводится к виду

$$y = \varphi(x') = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{x'^2}{2\sigma^2}} \tag{90}$$

при $\sigma = 1$

$$y = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{x'^2}{2}} \tag{91}$$

при увеличении параметра σ ($\sigma > 1$) кривая сплющивается, растягиваясь одновременно вдоль оси абсцисс, т. е. распределение становится более равномерным, так как для больших значений $|x|$ ордината y будет тем больше, чем больше значение σ. При уменьшении параметра σ ($\sigma < 1$) высота кривой увеличивается, а кривая сжимается по оси абсцисс, т. е. в этом случае даже для небольших значений $|x|$ кривая близко подходит к оси абсцисс. Влияние параметра σ на форму кривой нормального распределения показано на фиг. 66.



Фиг. 66. Влияние параметра σ на форму кривой нормального распределения.

Площадь кривой нормального распределения

$$\int_{-\infty}^{+\infty} y\,dx = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{+\infty} e^{-\frac{(x-a)^2}{2\sigma^2}} dx = \frac{2}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_{0}^{\infty} e^{-\frac{(x-a)^2}{2\sigma^2}} dx. \tag{92}$$

При дискретном (прерывном) изменении аргумента x, принимающего значения $x_i = x_1, x_2, \ldots, x_n$, средняя арифметическая, которую, как принято, обозначим через $\bar{x}$, определяется уравнением

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + \ldots + x_n}{n} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} x_i. \tag{93}$$

Среднее квадратическое отклонение

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})^2} \tag{94}$$

Величина σ достаточно точно характеризует распределение значений аргумента при большом числе наблюдений даже в тех случаях,

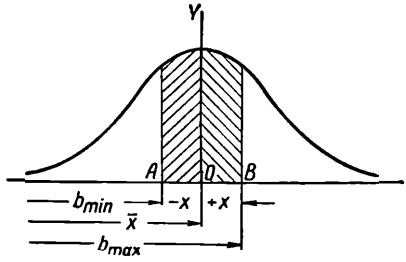
когда кривая распределения несколько отличается от гауссовой кривой. При малом числе наблюдений (порядка 10 и меньше) параметр σ не характеризует распределения; в этих случаях целесообразно пользоваться размахом распределения R, т. е. разностью между наибольшим и наименьшим значениями аргумента x:

$$R = x_{max} - x_{min}. \tag{95}$$

Следует отметить, что этот статистический параметр дает лишь общее представление о распределении значений x, тем менее точное, чем большее число наблюдений было произведено, и наоборот.

Таблица 3

x_i	$x_i - \bar{x}$	$(x_i - \bar{x})^2$
7,920	0,080	0,0064
7,935	0,065	0,0042
7,940	0,060	0,0036
8,048	0,048	0,0023
8,065	0,065	0,0042
8,080	0,080	0,0064



Фиг. 67. К определению вероятности получения размеров в границах интервала $\pm x$.

Для вычисления $\bar{x}$ и σ целесообразно составить таблицу (табл. 3).

$$\sum_{i=1}^{50} x_i \approx 400 \text{ мм}; \quad \sum_{i=1}^{50} (x_i - \bar{x})^2 \approx 0{,}053;$$

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} x_i = \frac{1}{50} \cdot 400 = 8 \text{ мм};$$

$$\sigma = \sqrt{1/n \sum_{i=1}^{n} (x_i - \bar{x})^2} = \sqrt{\frac{1}{50} \cdot 0{,}053} \approx 0{,}0326.$$

Принимая, что распределение размеров при выполнении технологического перехода подчиняется закону нормального распределения, можно предвидеть результаты, которые будут получены при определенных условиях обработки.

Допустим, что при выполнении технологического перехода имеем кривую распределения, показанную на фиг. 67. Вся ограниченная

кривой распределения площадь определяет в некотором масштабе полное количество заготовок, обработанных при неизменной настройке станка. Часть площади, лежащая между точками A и B, определяет в том же масштабе количество заготовок, размеры которых лежат между этими точками.

Если обусловлено, что b_{min} — наименьший и b_{max} — наибольшие предельные размеры, то годными будут заготовки, размеры которых лежат в этих пределах, т. е. между точками A и B. Следовательно, заштрихованная на фиг. 67 площадь определяет количество годных заготовок, а незаштрихованные части площади кривой распределения соответствуют количеству заготовок, размеры которых выходят за установленные пределы.

Вероятность получения годных заготовок определяется отношением заштрихованной площади ко всей площади, ограниченной кривой распределения и осью абсцисс.

Площадь, соответствующая заданному интервалу отклонений $x = x_i - \bar{x}$, определяется интегралом

$$\frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}}\int_0^x e^{-\frac{x^2}{2\sigma^2}}dx,$$

который удобно представить в виде функции от

$$z = \frac{x}{\sigma} = \frac{x_i - \bar{x}}{\sigma};$$

эта функция обозначается обычно $\Phi(z)$, причем

$$\Phi(z) = 2F(z) = \frac{2}{\sqrt{2\pi}}\int_0^z e^{-\frac{z^2}{2}}dz. \qquad (96)$$

Учитывая, что вся площадь кривой нормального распределения равна единице, имеем

$$\Phi(\infty) = \frac{2}{\sqrt{2\pi}}\int_0^\infty e^{-\frac{z^2}{2}}dz = 1, \qquad (97)$$

поэтому $\Phi(z)$ выражает отношение площади кривой, соответствующей заданному интервалу отклонений $\pm x$ (фиг. 67), ко всей площади кривой распределения.

Следовательно, значение $\Phi(z)$ определяет вероятность получения размера в границах интервала $\pm x$.

В связи со сложностью вычислений в трудах по теории вероятностей и математической статистике обычно даются таблицы вычисленных значений $\Phi(z)$ через каждую сотую аргумента.

В табл. 4 даны значения Ф (z) через каждую десятую аргумента. Имея

$$z = \frac{x}{\sigma},$$

получаем

$$x = z\sigma.$$

Принимая $z = 3$, имеем

$$x = 3\sigma; \quad \pm x = \pm 3\sigma = 6\sigma. \tag{98}$$

По табл. 4, при $z = 3$, Ф (z) = 0,9973; иначе говоря, вероятность (частость) получения размеров b в пределах $\pm x = 6\sigma$ составляет 99,73%; следовательно, риск получения размеров, выходящих за эти пределы, будет менее 0,3%.

Таким образом, 6σ или $\pm 3\sigma$ определяют наибольшее рассеивание размеров, которое практически следует учитывать. Иными словами, определив из ряда наблюдений $\bar{x}$ и σ и приняв 6σ, определяем, не прибегая к построению кривой, поле рассеивания размеров, вероятность получения которого близка к единице, т. е. достоверности.

Величина 6σ представляет собой суммарное значение всех случайных погрешностей, а также систематических погрешностей, законо-

Таблица 4

	Ф (z)	$F(z)$		Ф (z)	$F(z)$
0,0	0,0000	0,0000	1,0	0,6827	0,3413
0,1	0,0797	0,0398	1,1	0,7287	0,3643
0,2	0,1585	0,0793	1,2	0,7699	0,3849
0,3	0,2358	0,1179	1,3	0,8064	0,4032
0,4	0,3108	0,1554	1,4	0,8385	0,4192
0,5	0,3829	0,1915	1,5	0,8664	0,4332
0,6	0,4515	0,2257	1,6	0,8904	0,4452
0,7	0,5161	0,2580	1,7	0,9109	0,4554
0,8	0,5763	0,2881	1,8	0,9281	0,4641
0,9	0,6319	0,3159	1,9	0,9426	0,4713
2,0	0,9545	0,4772	2,8	0,9949	0,4974
2,1	0,9643	0,4821	2,9	0,9963	0,4981
2,2	0,9722	0,4861	3,0	0,99730	0,49865
2,3	0,9786	0,4893	3,1	0,99806	0,49903
2,4	0,9836	0,4918	3,2	0,99862	0,49931
2,5	0,9876	0,4938	3,3	0,99903	0,49952
2,6	0,9907	0,4953	3,4	0,99933	0,49966
2,7	0,9931	0,4965	3,5	0,99953	0,49977

мерно изменяющих свое значение в партии обработанных заготовок, а именно погрешностей от размерного износа инструмента и температурных деформаций элементов технологической системы станок — заготовка — инструмент до момента стабилизации этих деформаций. Эти погрешности неизбежно и естественным путем окажут влияние на колебание действительных размеров, получаемых при обмере партии заготовок. Величина σ не учитывает погрешности настройки станка на выдерживаемый размер, а также погрешности, вызываемые отклонениями формы обработанной поверхности, получающиеся вследствие геометрических погрешностей станка.

Погрешность установки заготовки для обработки на станке, если она имеет место и влияет на выдерживаемый размер, тоже не получает отражения при определении величины σ, как и другие систематические погрешности, сохраняющие постоянное значение в партии заготовок, обработанных при неизменной настройке станка.

Таким образом, величина технологического допуска, определяемая по расчетным формулам (71)—(74), не сопоставима со значением 6σ. Однако вполне возможно сопоставлять

$$\Delta Y + \Delta И + \sum \Delta T \approx 6\sigma$$

при одностороннем снятии стружки и

$$2(\Delta Y + \Delta И + \sum \Delta T) \approx 6\sigma$$

при обработке поверхностей вращения и параллельной обработке противолежащих плоских поверхностей; при этом величина ΔY должна быть рассчитана для определенного сечения заготовки, т. е. при неизменной податливости системы по формуле

$$\Delta Y = W_{сист}\left(P_{y_{max}} - P_{y_{min}}\right).$$

Замеры обработанных заготовок для определения значения 6σ производят по тому же сечению.

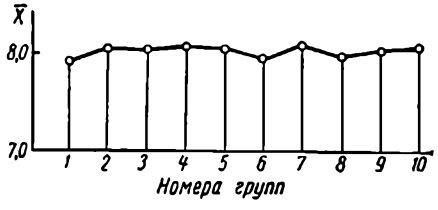
При сопоставлении следует учитывать, что при определении значения σ по 50 замерам средняя ошибка достигает $\pm 0{,}1\ \sigma$.

Статистический метод кривых распределения обладает тем недостатком, что при математической обработке не учитывает последовательности обработки заготовок. При этом закономерно изменяющиеся погрешности не отделяются от случайных и наблюдаемое распределение размеров отражает совокупное влияние этих погрешностей.

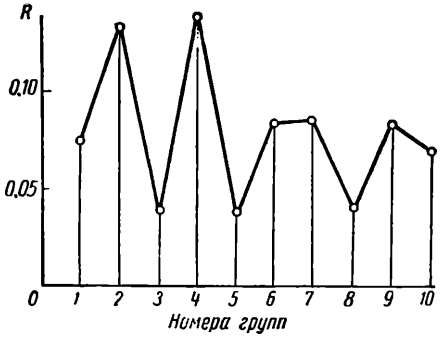
Статистический метод точечных диаграмм заключается в графическом построении результатов обработки партии заготовок в определенной последовательности.

Точечные диаграммы могут быть построены также для нескольких последовательно обрабатываемых партий заготовок. При этом последовательные наладки станка или его подналадки выявляются общим изменением размеров обработанных заготовок.

Для построения точечных диаграмм откладывают по оси абсцисс номера последовательно обрабатываемых заготовок, а по оси ординат — размеры, получившиеся после обработки этих заготовок. В целях сокращения длины диаграммы партию заготовок разбивают на группы, по нескольку последовательно обработанных заготовок в каждой группе. По оси абсцисс в этом случае откладывают не номера заготовок, а номера групп. При этом точки, соответствующие размерам заготовок одной группы, распределятся на одной вертикали, а их разброс будет характеризовать распределение размеров группы (см. фиг. 53 и 54).



Фиг. 68. Точечная диаграмма средних групповых.



Фиг. 69. Точечная диаграмма размаха распределения размеров.

При таком построении диаграммы весьма затруднительно определить тенденцию изменения размера в партии заготовок. Если вместо размеров отдельных заготовок нанести на диаграмму средние групповые значения размеров, то вместо нескольких точек по вертикали получаем одну точку средней групповой (средней арифметической размеров группы); при этом более определенно выявляется закономерность изменения средних групповых, разброс которых меньше, чем разброс размеров отдельных заготовок.

При нормальном законе распределения размеров в партии обработанных заготовок, распределение средних групповых подчиняется тому же закону, но со средним квадратическим $\sigma_{\bar{x}}$; при этом

$$\sigma_{\bar{x}} = \frac{\sigma}{\sqrt{m}}, \tag{99}$$

где σ — среднее квадратическое отклонение для всей партии обработанных заготовок;

m — количество заготовок в группе.

На фиг. 68 показана точечная диаграмма средних групповых, полученных последовательной обработкой заготовок по 5 шт. в группе.

Точечные диаграммы могут быть построены по размаху распределения для каждой группы. На фиг. 69 показана такая диаграмма, построенная для той же партии заготовок.

При рассеивании по закону нормального распределения размеров по размаху распределения R для каждой группы может быть найдено значение σ для всей партии обработанных заготовок по формуле

$$\sigma = \frac{R_{cp}}{dm}, \qquad (100)$$

где R_{cp} — среднее значение размаха распределения для всех групп;
dm — коэффициент, связывающий значения R_{cp} и σ. Среднее значение размаха распределения

$$R_{cp} = \frac{R_1 + R_2 + \ldots + R_n}{n} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} R_i,$$

где n — число групп.

$R_1, R_2, \ldots, R_n$ — размах распределения для групп $1, 2, 3, \ldots, n$.

Коэффициент dm принимают в зависимости от количества заготовок в группе:

Количество заготовок в группе	3	5	7	9	11	13	15
Значение коэффициента dm	1,693	2,326	2,704	2,970	3,172	3,336	3,472

Метод точечных диаграмм нашел применение при разнообразных статистических исследованиях, особенно при статистическом контроле размеров, получаемых при обработке на металлорежущих станках, и вообще при статистическом контроле качества продукции.

Статистические методы могут быть использованы при решении ряда технологических задач, связанных с определенными и неизменными условиями обработки. Вместе с тем статистическими методами исследования пользуются в тех случаях, когда механизм явлений еще недостаточно изучен или когда исследуемые величины не могут быть определены техническим расчетом. Другой метод определения ожидаемой точности — расчетно-аналитический — позволяет вскрывать механизм явлений, происходящих в процессе обработки и указывает способы сознательного воздействия на технологический процесс в целях повышения точности обработки.

§ 6. КАЧЕСТВО ПОВЕРХНОСТЕЙ ЗАГОТОВОК И ДЕТАЛЕЙ МАШИН

Общая характеристика явлений, вызывающих поверхностные погрешности в процессе обработки резанием. Понятия о микрогеометрии поверхности и состоянии поверхностного слоя как элементах качества поверхности. Влияние качества поверхности на эксплуатационные свойства деталей и узлов машин.

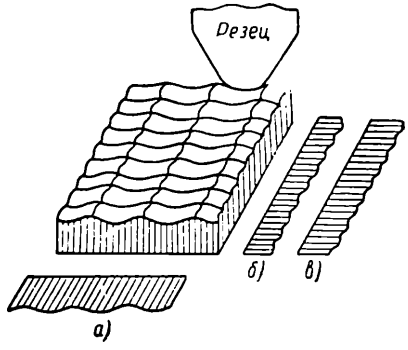
Государственный стандарт на чистоту поверхности и приборы для ее измерения. Методы исследования поверхностного слоя.

Общая характеристика качества поверхностей заготовок на различных стадиях производства. Влияние технологических методов обработки на качество поверхности.

Указания к назначению чистоты поверхностей в зависимости от условий эксплуатации.

При обработке металлов снятием стружки режущий инструмент оставляет на обработанной поверхности следы в виде поверхностных неровностей как в направлении главного рабочего движения, при котором осуществляется резание, так и в направлении подачи. В результате создается определенная микрогеометрия поверхности (фиг. 70), характеристика которой зависит от свойств обрабатываемого металла, процесса образования стружки, режимных условий обработки, вибраций, возникающих при резании и ряда других технологических факторов.

На микрогеометрию поверхности влияют пластические явления захвата и отрыва слоев металла, находящегося под режущей кромкой при обработке стали и явления хрупкого выламывания частиц металла при обработке серого чугуна и твердых цветных сплавов. Трение задней поверхности инструмента по обработанной поверхности заготовки, которое увеличивается по мере износа режущего инструмента, сопровождается образованием микронеровностей. Штрихи и царапины на задней поверхности инструмента также оставляют следы на обработанной поверхности. Существенное влияние на микрогеометрию поверхности оказывают скорость резания и подача.



Фиг. 70. Микрогеометрия поверхности:

а — профиль в направлении движения подачи; *б* — профиль в направлении движения резания по дну впадин; *в* — то же по вершинам неровностей.

Нарост на режущем лезвии инструмента, периодически образующийся в определенном диапазоне скоростей резания при обработке стали, способствует увеличению шероховатости обработанной поверхности; при высоких скоростях резания шероховатость уменьшается, так как наростообразование прекращается, стружка вследствие повышения температуры резания отделяется резцом более плавно и кристаллы металла не вырываются. С увеличением подачи явления захвата и отрыва слоев металла увеличиваются, ухудшая чистоту поверхности.

Вибрации в упругой системе станок — заготовка — инструмент, вызывая колебательные движения по нормали к обрабатываемой поверхности, периодически изменяют положение режущего лезвия относительно этой поверхности, создавая на ней впадины и выступы.

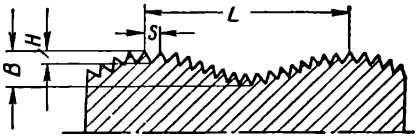
При высоких частотах и малых амплитудах колебаний изменяются форма и размеры микронеровностей; при относительно невысокой частоте и большой амплитуде колебаний на обработанной поверхности образуется волнистость (фиг. 71). Такое предположение о возникновении волнистости основывается на постоянстве периода или длины волн, имеющих вид синусоиды и представляющих собой

как бы след периодических колебаний, возникающих в процессе обработки резанием.

Колебательные движения в направлении, параллельном обрабатываемой поверхности, также оказывают некоторое влияние на шероховатость поверхности, создавая, в частности, периодические отрывы пластических слоев металла при отделении стружки от обрабатываемой поверхности.

Чистота обработанной поверхности зависит также от твердости обрабатываемого металла и геометрических параметров режущего инструмента.

Одновременно с образованием микрогеометрии обработанной поверхности образуется поверхностный слой материала заготовки, физические и механические свойства которого отличаются от свойств сердцевины металла. Под воздействием давления резания и выделяющегося тепла происходит частичное обезуглероживание в поверхностном слое и образование в нем разрывов и трещин. При обработке пластических металлов (сталь, медь, алюминиевые сплавы) в поверхностном слое, кроме того, происходят значительные структурные изменения.



Фиг. 71. Микропрофиль (шероховатость) и волнистость поверхности:

B—высота волны; *L*—шаг волны; *H*—высота микронеровностей; *S* — шаг микронеровностей.

Таким образом, качество поверхности определяется совокупностью характеристик микрогеометрии поверхности и состояния поверхностного слоя.

Эксплуатационные свойства деталей, машин, в частности их износоустойчивость, прочность и антикоррозийная стойкость, в значительной степени зависят от качества поверхностей деталей.

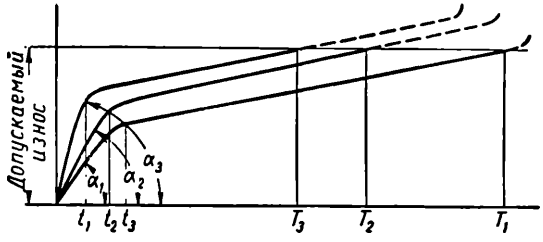
При подвижных посадках чистота поверхности оказывает влияние на характер протекания первичного износа, т. е. процесса приработки трущихся поверхностей.

В процессе приработки поверхностные неровности сопряженных поверхностей вызывают местное выжимание масла и разрыв масляной пленки, в результате чего даже при сравнительно небольших давлениях возникает сухое трение и происходит срезание выступающих неровностей, сопровождающееся в дальнейшем повышением работы трения. Срезанные частицы металла, оказывая абразивное действие, еще в большей степени увеличивают износ сопряженных поверхностей в начальный период работы. В результате первичного износа зазор между сопряженными поверхностями увеличивается и посадка отклоняется от запроектированной. На фиг. 72 даны кривые износа поверхностей при подвижной посадке. По оси абсцисс отложено время работы сопряжения, по оси ординат — величина износа с указанием границы допустимого износа. Первичный износ

для трех поверхностей, обработанных с различной чистотой, характеризуется участками кривых с углами наклона α_1, α_2 и α_3 и продолжительностью протекания явления износа t_3, t_2 и t_1. Эксплуатационный износ для всех случаев характеризуется одинаковым углом наклона кривых износа, свойственным данным материалам и условиям работы.

Таким образом, продолжительность работы трущихся пар T_1, T_2 и T_3 до границы допустимого износа будет различной в зависимости от чистоты поверхностей.

Различные методы тонкой обработки и отделки трущихся поверхностей — тонкое точение, притирочное шлифование, отделочное шлифование, притирка и др. — применяются с целью возможного



Фиг. 72. Кривые износа поверхностей при подвижной посадке.

уменьшения первичного износа и увеличения срока службы деталей при сохранении запроектированной посадки.

Кроме микрогеометрии поверхности, на износ деталей машин влияют волнистость поверхности и макрогеометрические отклонения формы. При этом влияние макрогеометрических отклонений более значительно, чем влияние шероховатости поверхности.

Изменения, происшедшие в поверхностном слое детали в результате ее обработки, могут также оказывать влияние на протекание износа трущихся поверхностей.

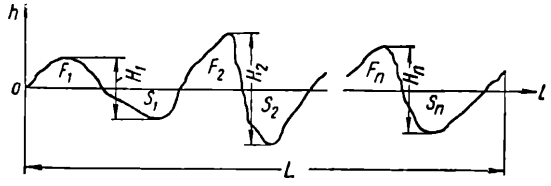
В ряде случаев изменения, происходящие в поверхностном слое в результате механической обработки, оказывают благоприятное влияние на износоустойчивость и прочность деталей машин. Так, например, применяя методы упрочняющей технологии (обкатывание роликами и шариками, обдувка дробью) в поверхностных слоях материала деталей создают напряжения, способствующие увеличению срока их службы в условиях знакопеременной нагрузки.

Качество поверхности оказывает значительное влияние на прочность соединений с натягом, особенно при прессовых посадках, в процессе осуществления которых происходят те или иные разрушения на сопрягаемых поверхностях, в зависимости от их состояния.

Прочность детали, при прочих равных условиях, также зависит от микрогеометрии поверхности и физического состояния поверхностного слоя.

Микронеровности поверхности в значительной степени влияют на концентрацию напряжений и образование усталостных трещин, особенно в условиях работы со знакопеременной нагрузкой, а обезуглероженность и другие дефекты поверхностного слоя снижают предел выносливости металла.

Наблюдения за противокоррозионной стойкостью металлических поверхностей показали, что коррозия возникает легче и распространяется быстрее на грубо обработанных, со значительной шероховатостью поверхностях, а именно, в местах концентрации напряжений. Повышением чистоты поверхностей достигается повышение противокоррозийной стойкости деталей.



Фиг. 73. Профиль поверхности.

Стандартом на классификацию и обозначения чистоты поверхностей (ГОСТ 2789-51) установлено 14 классов чистоты, 1-му классу соответствует самая грубая, а 14-му классу — самая чистая поверхность [1]

Чистота поверхности по ГОСТу 2789-51 определяется одним из следующих параметров: а) средним квадратическим отклонением микронеровностей $H_{ск}$ и б) средней высотой микронеровностей $H_{ср}$.

Среднее квадратическое отклонение микронеровностей определяется как квадратный корень из среднего квадрата расстояний точек профиля поверхности до его средней линии, т. е. до линии, делящей профиль таким образом (фиг. 73), что суммы площадей по обеим сторонам от этой линии до контура профиля равны между собой (т. е. $F_1 + F_2 + \quad + F_n = S_1 + S_2 + \quad + S_n$)

$$H_{ск} = \sqrt{\frac{1}{L}\int_0^L h^2 dl}. \qquad (101)$$

Средняя высота микронеровностей определяется как среднее арифметическое высот микронеровностей H от гребня до дна впадины

[1] ГОСТ 2789-51 и аппаратура для определения качества поверхности рассматриваются в курсе «Допуски и технические измерения». Поэтому здесь приводятся для напоминания лишь краткие сведения. В настоящее время взамен ГОСТ 2789-51 утвержден ГОСТ 2789-59 со сроком введения с 1/I 1962 г., кроме обозначений классов чистоты, которые вводятся с 1/XI 1959 г. (см. приложение 4 на стр. 487, 488)

(фиг. 73); при определении $H_{ср}$ отдельные, явно выпадающие из ряда, значения H не учитываются:

$$H_{ср} = \frac{1}{n}(H_1 + H_2 + \ldots + H_n). \qquad (102)$$

Наиболее распространенными и имеющими практическое значение методами оценки чистоты, т. е. микрогеометрии поверхности являются: а) оптические методы измерения профиля поверхности на двойном микроскопе, микроинтерферометре и микропрофилометре акад. В. П. Линника; б) методы ощупывания профиля поверхности иглой с записью профилограммы на профилографах Б. М. Левина, К. Л. Аммона и др.:, в) метод ощупывания профиля поверхности иглой с непосредственным получением числовой величины, характеризующей микропрофиль в $H_{ск}$, на профилометрах В. М. Киселева и др.; г) метод сравнения поверхности контролируемой детали с образцами чистоты поверхности; д) метод исследования естественных профилограмм; е) метод слепков.

Двойной микроскоп акад. Линника предназначен для контроля поверхностей преимущественно 2—9-го класса чистоты по ГОСТу 2789-51. Класс чистоты определяется на этом приборе измерением наибольшей высоты микронеровностей. $H_{ср}$ определяется обычно по пяти замерам.

Микроинтерферометр акад. Линника предназначен для контроля чисто обработанных поверхностей 9—14-го класса по ГОСТу 2789-51. Класс чистоты на этом приборе определяется измерением наибольшей высоты микронеровностей.

Микроинтерферометр крайне затруднительно применять для исследования поверхностей с нерегулярными неровностями или беспорядочными следами обработки, так как беспорядочное искривление интерференционных полос настолько искажает интерференционную картину, что становится невозможным измерение профиля.

Микропрофилометр акад. Линника предназначается для измерения поверхностей высоких классов чистоты, с микронеровностями произвольной формы, без предпочтительного направления штрихов, т. е. с беспорядочными следами обработки. Класс чистоты на этом приборе также определяется измерением наибольшей высоты микронеровностей.

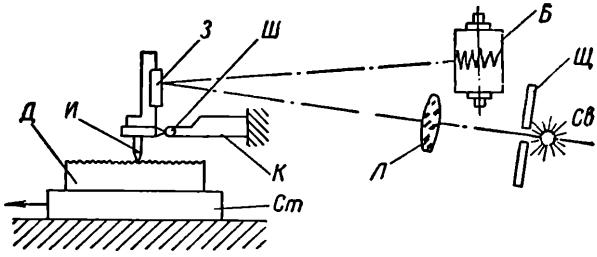
Профилографы предназначаются для измерения микронеровностей методом ощупывания профиля поверхности иглой с записью профилограммы.

Профилографы применяются для контроля поверхностей 1—11 и даже 12-го классов чистоты.

Класс чистоты определяется на этих приборах измерением наибольшей высоты микронеровностей, которая определяется высотой H_{max} от самого высокого гребня до самой глубокой впадины. Практически H_{max} и $H_{ср}$ весьма близки по своим значениям. Графиче-

ским интегрированием профилограмм можно получить также среднее квадратическое отклонение микронеровностей $H_{ск}$.

На фиг. 74 показана принципиальная схема профилографа [30]. По измеряемой поверхности детали *Д*, установленной на медленно перемещающемся столике *Ст* прибора, скользит ощупывающая игла *И*, закрепленная в державке, несущей иглу и зеркальце *З*. Державка соединена шарниром *Ш* или другим гибким сочленением с неподвижно закрепленным кронштейном *К*. Такое соединение обеспечивает угловые перемещения иглы в вертикальной плоскости, соответствующие неровностям измеряемой поверхности. Зеркальце *З*, жестко скрепленное с державкой иглы *И*, совершает колебательные движения, также соответствующие поверхностным неровностям. Луч от источника света *Св*, пройдя через узкую щель *Щ* и собира-



Фиг. 74. Принципиальная схема профилографа.

тельную линзу *Л* падает на зеркальце *З* и отражается на вращающийся барабан *Б* со светочувствительной бумагой, на которой получается световая запись кривой, соответствующей профилю измеряемой поверхности и называемой профилограммой.

Чтобы получить отчетливую запись неровностей поверхности, ординаты кривой увеличиваются сравнительно с действительной высотой неровностей в 400—5000 раз и более, в зависимости от конструкции и настройки прибора. Вертикальное увеличение осуществляется оптической системой прибора. Горизонтальное увеличение значительно меньше вертикального; действительная длина трассы увеличивается по оси абсцисс в 10—50 раз. Такая резкая разница вертикального и горизонтального увеличений делается из соображений удобства чтения профилограммы. В самом деле, если бы было принято одинаковое увеличение, например в 5000 раз, то для длины трассы всего лишь в 3 *мм* потребовалась бы профилограмма длиной 15 *м*. Горизонтальное увеличение осуществляется передаточным числом механизма, связывающего движения столика *Ст* и барабана *Б*.

Таким образом, профилограмма дает искаженное изображение профиля, что не мешает, однако, произвести с необходимой точностью определение высоты микронеровностей.

В связи с тем, что ощупывающая игла имеет радиус закругления (1,5—12 *мк* в незатупленном состоянии), профилограмма не в состоянии отразить очень узких и глубоких впадин. Это является основным недостатком профилографов.

В профилографе Аммона по исследуемой поверхности перемещается измерительная головка прибора, несущая алмазную иглу, которая и ощупывает микронеровности. Получающееся в результате перемещений иглы движение светящейся точки вдоль шкалы прибора позволяет определять визуально, по амплитуде колебаний, значения высот неровностей. Вместе с тем движение светящейся точки можно фиксировать на фотопленке перемещающейся с постоянной скоростью в фотокамере прибора, и получить таким путем профилограмму. Прибор имеет вертикальные увеличения от 400 до 2500 раз и горизонтальные увеличения в 10, 30 и 50 раз, в зависимости от скорости перемещения головки прибора, несущей иглу.

Фотоувеличением профилограмм достигается их укрупнение обычно в 4 раза. Таким образом, результативное вертикальное увеличение может составлять от 1600 до 10 000 а горизонтальное — от 40 до 200.

Профилограф Аммона может быть использован для оценки микрогеометрии поверхностей деталей любой величины, так как его можно установить рядом с деталью. Он может быть использован также для определения волнистости поверхности, так как измеряемая им трасса достигает 125 *мм*.

Значительное давление иглы на ощупываемую поверхность (порядка 5 *г*) искажает оцениваемый профиль при исследовании поверхностей цветных сплавов и других мягких материалов, так как игла оставляет на них относительно значительную царапину.

Профилограф Левина (модель ИЗП-17) предназначается для исследования микрогеометрии плоскостей, внешних цилиндрических поверхностей вдоль их образующей и наружных сферических поверхностей большого радиуса.

Профилограммы могут быть получены с вертикальным увеличением 250—5000 и с горизонтальным увеличением 25 и 50. Наибольшая высота микронеровностей, помимо профилограммы, может быть определена на приборе также и визуально. Корпус профилографа оснащен устройствами для установки на нем небольших деталей и для установки всего прибора на исследуемые поверхности крупных деталей.

Радиус закругления ощупывающей иглы в профилографе ИЗП-17 равен 1,5 и 3,0 *мк*, что обеспечивает возможность более точного отражения профилограммой микрогеометрии исследуемой поверхности.

Давление на ощупывающую иглу составляет здесь для грубо обработанных поверхностей 0,05—2,2 *г*, а для чисто обработанных поверхностей 0,007—0,25 *г*. что исключает царапание поверхности.

Длина исследуемой трассы 1,5—3,0 *мм*; поэтому прибор не может быть использован для определения волнистости поверхности.

Другой профилограф Левина — модель ИЗП-5 — предназначен для исследовательских работ по определению профиля поверхности эталонных образцов для 1—13-го классов чистоты поверхности.

Профилограф имеет специальное микроскопическое устройство для предварительного просмотра поверхности образца, выбора интересующего участка исследования и для установки поверхности образца строго параллельно плоскости движения столика прибора, что дает возможность быстро и точно произвести установку образца для исследования и при профилографировании весьма чисто обработанных поверхностей получать 8—12 профилограмм на одном листе фотобумаги размером 13 × 18.

Вертикальное увеличение профилографа составляет 500—13 800, горизонтальное 25—500.

Величина давления на иглу 0,004—0,25 *г* позволяет производить оценку образцов не только из металлов, но также из пластмасс и других материалов.

В качестве примеров на фиг. 75—79 приведены некоторые профилограммы, снятые на профилографе Левина, световые профилограммы, снятые на двойном микроскопе Линника и интерферограмма, полученная на микроинтерферометре Линника.[1]

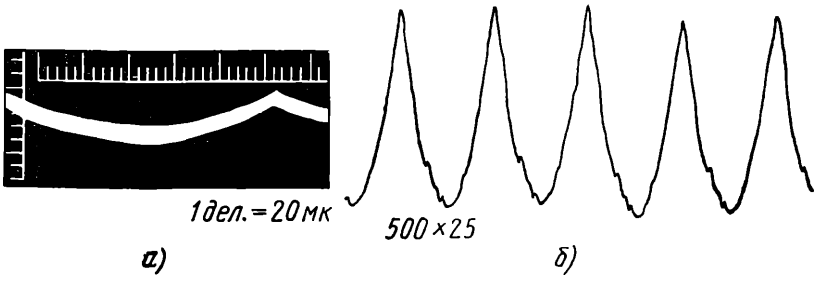
На фиг. 80 показаны профилограммы поверхности стальных отливок, изготовленных по выплавляемой модели, снятые на профилографе МВТУ

На фиг. 81 показана интерферограмма поверхности листового алюминия, полученная на микропрофилометре Линника.[1]

Профилометры представляют собой электродинамические приборы, предназначенные для количественной оценки микрогеометрии поверхностей деталей машин, с отсчетом результата измерения по стрелочному указателю непосредственно в $H_{ск}$ — среднеквадратическом отклонении высот микронеровностей поверхности от их средней высоты.

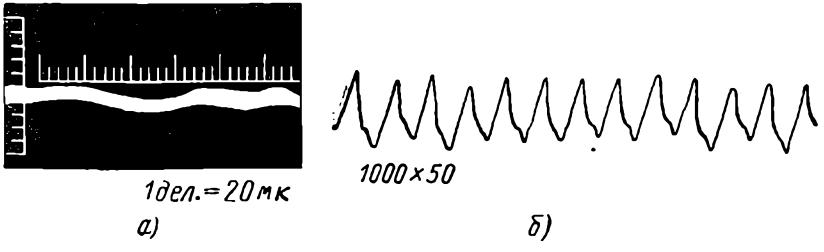
---

[1] Профилограммы и интерферограммы заимствованы из книги П. Е. Дьяченко, и др.. Современные приборы для измерения неровностей поверхности деталей машин изд. АН СССР, 1950.



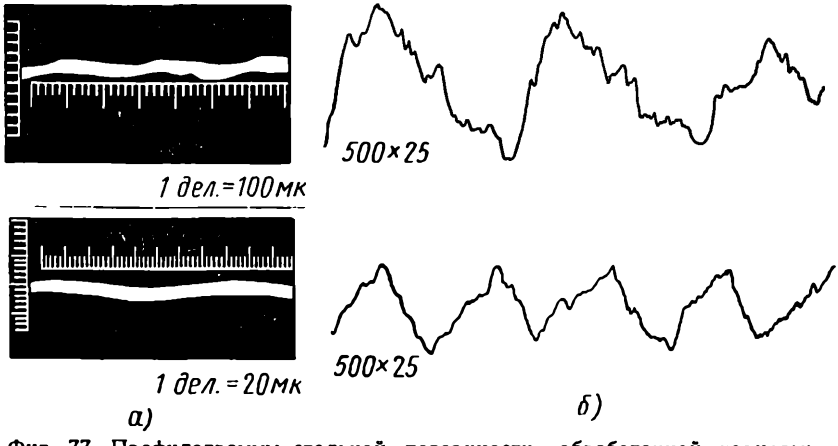
Фиг. 75. Профилограммы стальной поверхности, обработанной точением по 3-му классу чистоты, полученные:

а — на двойном микроскопе Линника; *б* — на профилографе Левина



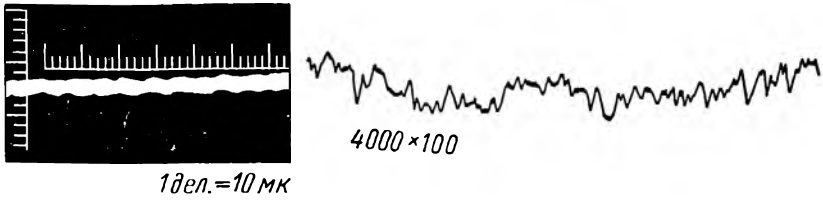
Фиг 76. Профилограммы стальной поверхности, обработанной точением по 6-му классу чистоты, полученные:

а — на двойном микроскопе Линника; *б* — на профилографе Левина



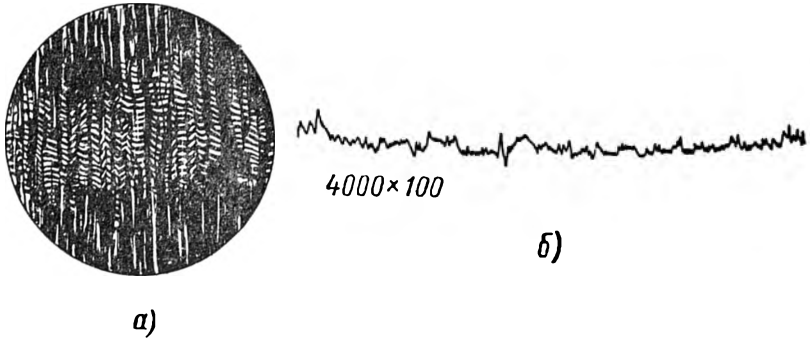
Фиг. 77. Профилограммы стальной поверхности, обработанной торцовым фрезерованием по 3-му (верхняя) и 4-му (нижняя) классам чистоты, полученные

а — на двойном микроскопе Линника; *б* — на профилографе Левина.

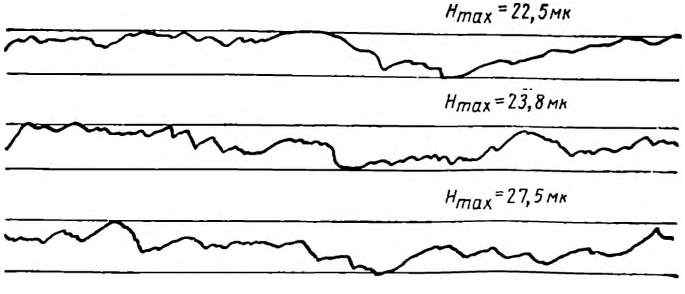


Фиг. 78. Профилограммы стальной поверхности, обработанной шлифованием по 8-му классу чистоты, полученные:

а — на двойном микроскопе Линника; *б*— на профилографе Левина.



Фиг. 79. Интерферограмма (*а*) и профилограмма (*б*) стальной поверхности, обработанной шлифованием по 10-му классу чистоты, полученные на интерферометре Линника и на профилографе Левина.



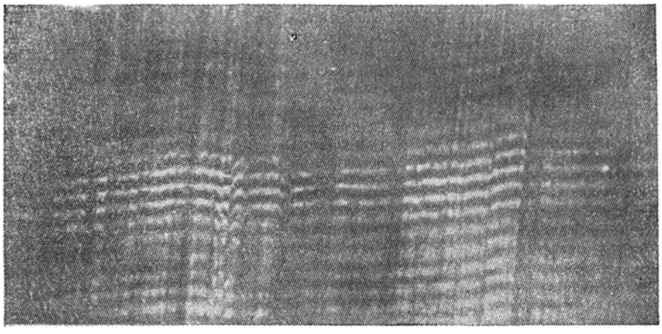
Фиг. 80. Профилограммы поверхности стальных отливок, изготовленных по выплавляемой модели, снятые на профилографе МВТУ

Измерение микропрофиля на профилометрах производится методом ощупывания поверхности иглой.

Профилометры обычно применяют для контроля поверхностей 5—12-го класса чистоты.

Профилометры Киселева пригодны для применения в лабораторных и цеховых условиях. Они выпускаются двух моделей: КВ-4 и КВ-6. Более поздняя по разработке модель КВ-6 обеспечивает более высокую точность и стабильность показаний.

Метод сравнения поверхности контролируемой детали с образцами чистоты поверхности, обработанными соответственно определенным классам по стандарту, является наиболее простым и быстрым способом контроля производственных деталей в цеховых условиях. При некотором навыке контролеры, пользуясь хорошо выполненными образцами, могут достаточно надежно определять класс чистоты



Фиг. 81. Интерферограмма поверхности листового алюминия, полученная на микропрофилометре Линника.

контролируемой детали. Для этого образцы должны быть изготовлены из тех же материалов, что и контролируемые детали, так как отражающая способность материала (стали, чугуна, цветных сплавов и др.) оказывает существенное влияние при глазомерной оценке чистоты поверхности. Равным образом механическая обработка образцов должна производиться теми же методами, которыми обрабатываются контролируемые детали, так как внешний вид поверхностей, обработанных разными методами (точением, фрезерованием, протягиванием, шлифованием и т. д.), бывает различным для одних и тех же классов чистоты.

Образцы должны быть изготовлены по наибольшему пределу высот неровностей для данного класса чистоты по стандарту. При этом условии легче различать образцы двух соседних классов.

Образцы должны иметь паспорта с указанием материала, термической обработки, метода механической обработки, режима резания, охлаждающе-смазывающей жидкости, геометрических параметров режущего инструмента, при которых они были обработаны. Такие паспорта ориентируют технолога при назначении режима резания и других условий обработки для получения чистоты поверхностей деталей заданных классов.

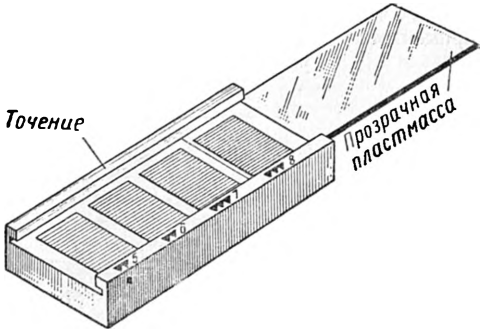
На фиг. 82 показан набор образцов в ящике с прозрачной крышкой, а на фиг. 83 — в специальном держателе. Образцами следует пользоваться не прикасаясь к ним руками.

Образцами могут служить также готовые детали машин, проверенные каким-либо из рассмотренных методов непосредственной оценки чистоты поверхности или бруски соответствующих размеров, вырезанные из этих деталей.

Метод сравнения, являясь весьма удобным для цеховых условий, имеет некоторые недостатки. Глазомерная оценка субъективна и может вызвать разногласия; особые затруднения вызывает оценка тонко обработанных поверхностей. В этих

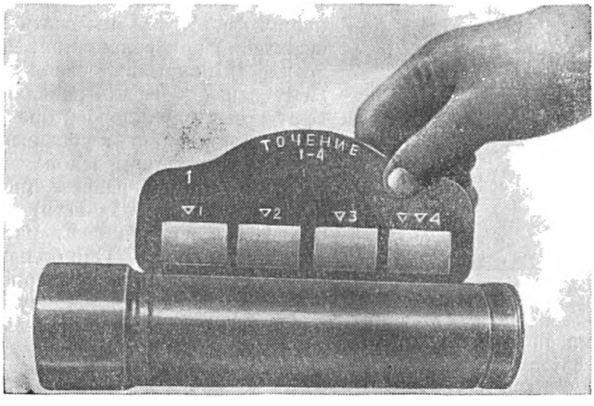
случаях рекомендуется применять лупу с пятикратным увеличением или пользоваться сравнительным микроскопом, в котором изображения контролируемой поверхности и образца совмещены в поле одного и того же окуляра, разделенном на две равные части

Образцы требуют тщательного хранения и бережного обращения с ними, так как они подвержены коррозии и весьма чувствительны к механическим повреждениям.



Фиг. 82. Ящик с образцами чистоты поверхности.

Объективный контроль чистоты поверхности методом сравнения с образцами дают сравнительные приборы Так, возможна оценка чистоты поверхностей деталей сравнением с образцами путем измерения на специальном приборе какой-либо косвенной характеристики, связанной с чистотой поверхности. Например, на рефлектомерах измеряются при помощи фотоэлемента и сопоставляются силы отраженного света контролируемой поверхности и образца. Пневматические приборы основаны на изменении давления сжатого воздуха в воздушном цилиндре, имеющем одинаковые по размеру сечения входного и выходного отверстий; подводя к выходному отверстию поверхности,



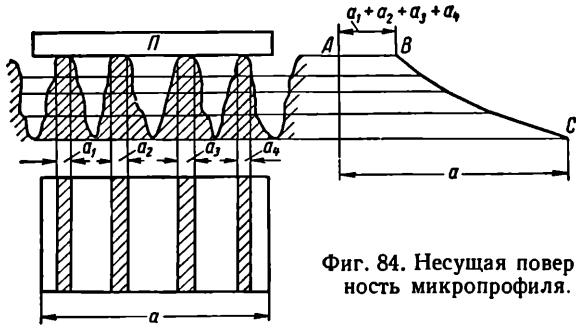
Фиг. 83. Держатель для сравнения поверхности детали с образцами чистоты.

имеющие различную микрогеометрию, мы как бы изменяем в разной степени сечение выходного отверстия, что отражается на изменении давления в воздушном цилиндре.

Дополнительной качественной характеристикой чистоты поверхности служит несущая поверхность микропрофиля. Она определяется наложением на исследуемую поверхность стеклянной призмы *П* (фиг. 84). В этом случае будут ясно видны площадки фактического контакта протяженностью a_1, a_2 и т. д. на общей длине призмы a. С правой стороны построена кривая несущей поверхности ABC, показывающая долю фактического контакта или несущую поверхность на любой высоте микронеровностей, например, по мере износа. Несущая поверхность определяется на при-

боре, позволяющем наблюдать и фотографировать участки контакта плоскости кварцевой призмы с исследуемой поверхностью. Накладывая прибор на образец чистоты поверхности, а затем на контролируемую деталь, можно производить оценку чистоты обработанной поверхности методом сравнения.

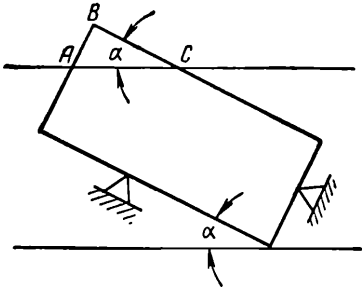
Метод исследования естественных профилограмм применяется исключительно для научных исследований, так как в этом случае



Фиг. 84. Несущая поверхность микропрофиля.

для получения профилограммы исследуемая деталь или образец подвергается разрушению.

Для получения естественной профилограммы поверхность детали (образца) разрезают в интересующем исследователя направлении; поверхность разреза полируют обычным способом для получения микрошлифа. Чтобы избежать завалов и повреждений при разрезании, исследуемую поверхность покрывают слоем хрома или меди. Полученный профиль поверхности увеличивают при помощи проектора либо фотографируют при большом увеличении или исследуют на металломикроскопе.



Фиг. 85. Схема получения косого среза.

При прямом разрезе (перпендикулярно исследуемой поверхности) профилограмма получается в одинаковом масштабе по осям абсцисс и ординат. При большом увеличении профилограммы, она чрезмерно растягивается в длину и неудобна для изучения. Для получения естественных профилограмм целесообразно применять метод косых срезов [1]. Установка образца для получения косого среза показана на фиг. 85. После удаления части образца ABC образовавшиеся грани AC притирают пастой ГОИ с керосином и протравливают. Ребро C фотографируют при увеличении в 30 раз и получают таким путем естественную профилограмму с различным увеличением по вертикали и горизонтали. Угол α выбирают примерно от 0,5 до 2°, что создает дополнительное увеличение профиля по вертикали в 30—120 раз, так как масштаб

$$M = \frac{1}{\operatorname{tg} \alpha}$$

Таким образом, общее увеличение профиля по вертикали можно получить в 900—3600, а по горизонтали в 30 раз (за счет увеличения при фотографировании).

[1] Метод косых срезов предложен д-ром техн. наук проф. П. Е. Дьяченко в 1939 г.

Для получения подобной профилограммы без разрушения детали применяют метод слепков. Этот метод заключается в том, что с исследуемой поверхности снимается слепок, который в дальнейшем подвергается профилографированию тем или иным способом. Помимо лабораторных исследований, метод слепков может быть с успехом применен для профилографирования очень крупных деталей в случаях, когда по тем или иным причинам не представляется возможным определить чистоту поверхности приборами непосредственно на детали, а также для определения микропрофиля в труднодоступных местах детали (например, отверстия).

Материалом для получения слепков служит целлулоид. Кусочек целлулоида размером 10 × 40 × 2 *мм* опускают на 2 мин. в химически чистый ацетон, а затем прикладывают к исследуемой поверхности, наложив кусочек бумаги черного цвета и придавив пальцем (черная бумага облегчает условия фотографирования). Полученный слепок после просушивания можно фотографировать при определенном увеличении или оценивать высоту микронеровностей одним из рассмотренных выше методов; могут быть применены профилографы, но с малым давлением иглы, во избежание образования царапин на слепке. Необходимо иметь в виду, что слепок представляет собой обратный профиль поверхности, т. е. выступы профилограммы соответствуют впадинам поверхности, и наоборот.

Для характеристики качества поверхностей существенное значение имеет состояние поверхностного слоя заготовок и деталей машины.

При исследованиях поверхностных слоев пользуются следующими методами.

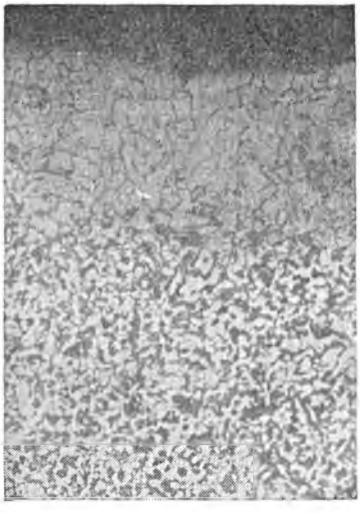
Для определения глубины и общей характеристики поверхностного слоя черных заготовок и при грубых методах механической обработки можно пользоваться обычным методом исследования микрошлифов. На фиг. 86 показан микрошлиф поверхностного слоя стальной отливки, полученной по выплавляемой модели. Поверхностный слой обезуглерожен почти до чистого феррита на глубину 0,15 *мм*. На этом же шлифе видны поверхностные микронеровности порядка 20—25 *мк*. На фиг. 87 показан микрошлиф поверхностного слоя стальной горячештампованной заготовки; на нем достаточно отчетливо виден обезуглероженный слой глубиной до 200 *мк* и поверхностные неровности высотой до 80 *мк*. На фиг. 88 показан микрошлиф поверхностного слоя холоднотянутой калиброванной стали, на котором виден частично обезуглероженный слой глубиной до 70 *мк* и поверхностные микронеровности порядка 40—50 *мк*.

На фиг. 89 показан микрошлиф поверхностного слоя горячештампованной заготовки из стали марки 20ХЗ. Поверхностный слой значительно обезуглерожен — на глубину до 225 *мк*. Для отчетливого представления о характере обезуглероженности на фиг. 90 дан микрошлиф сердцевины этой заготовки.

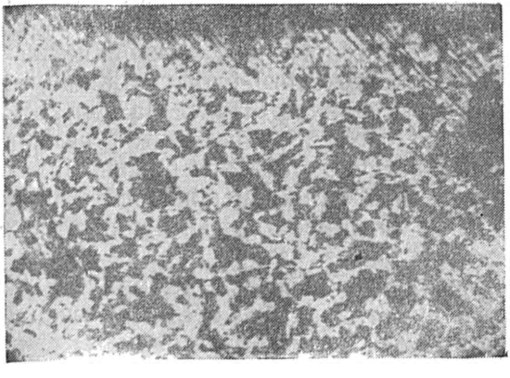
При исследовании микрошлифов можно наблюдать и поверхностные слои, деформированные после обработки снятием стружки. На фиг. 91 показан микрошлиф поверхностного слоя той же заготовки из стали марки 20ХЗ после обтачивания; поверхностный слой значительно деформирован и имеет завихренное строение структурных составляющих; глубина деформированного слоя достигает 80—90 *мк*. Другой пример приведен на фиг. 92, на которой показан микрошлиф поверхностного слоя заготовки из стали марки



Фиг. 86. Микрошлиф поверхностного слоя стальной отливки, полученной по выплавляемой модели.



Фиг. 87. Микрошлиф поверхностного слоя стальной горячештампованной заготовки.



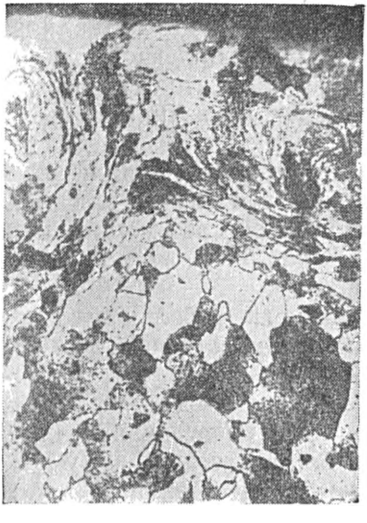
Фиг. 88. Микрошлиф поверхностного слоя холоднотянутой калиброванной стали



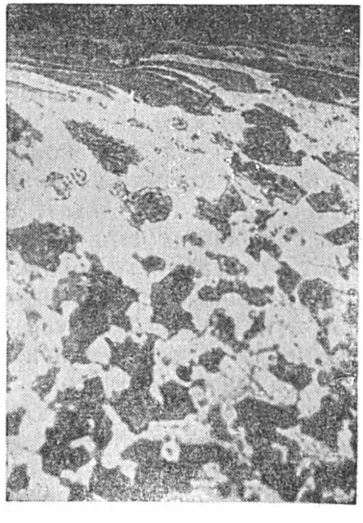
Фиг 89. Микрошлиф поверхностного слоя горячештампованной заготовки из стали марки 20Х3.



Фиг. 90. Микрошлиф сердцевины заготовки, поверхностный слой которой показан на фиг. 89.



Фиг. 91. Микрошлиф поверхностного слоя металла после обтачивания заготовки из стали марки 20Х3, показанного на фиг. 89.



Фиг. 92. Микрошлиф поверхностного слоя металла после обтачивания заготовки из стали марки 45.

45 после обтачивания; поверхностный слой значительно деформирован, на глубину до 100 *мк*.

При исследовании микрошлифов можно применять прямой и косой срез. Микрошлиф косого среза делается по схеме, приведенной на фиг. 85. Применением косого среза получают, как известно, картину поверхностного слоя в увеличенном масштабе, поэтому прямой срез (перпендикулярно поверхности) применяют преимущественно при большой глубине наклепанного слоя.

Для исследования поверхностного слоя применяют также приборы для испытания металлов на микротвердость методом вдавливания алмазной пирамилы. Находят применение приборы проф. М. М. Хрущова и Е. С. Берковича ПМТ-2 и ПМТ-3. В этих приборах применяется давление на пирамиду от 1 до 500 *г*. Для стали рекомендуется применять давление 100 *г*

Пользуясь этими приборами, можно определять глубину и степень наклепа путем измерения микротвердости на срезах. При изготовлении микрошлифов прямых и косых срезов нельзя покрывать исследуемую поверхность хромом, так как хром диффундирует в верхний слой металла, повышает его твердость и искажает действительную микротвердость. При косом срезе нельзя сошлифовывать удаляемую часть образца, так как высокая температура, возникающая при шлифовании, изменяет свойства металла. Эта операция производится полированием в специальном приспособлении, обеспечивающем срез под заданным углом. Полирование производят пастой ГОИ, сначала грубой, а затем средней и тонкой, последовательно на трех притирочных плитах: чугунной и двух стеклянных. Путем измерения микротвердости на скошенной части образца от поверхности до исходного металла определяют глубину и степень наклепа; при этом наклеп кончается там, где показания микротвердости получаются одинаковыми.

Для исследования поверхностного слоя применяют также р е н т г е н о с т р у к т у р н ы й а н а л и з. В этом случае для определения внутренних напряжений в поверхностном слое металла стравливают с поверхности образца слои толщиной 5—10 *мк* и после каждого стравливания снимают рентгенограмму.

Этот метод требует сложной аппаратуры и большой затраты времени, так как на снятие и обработку каждой рентгенограммы требуется около 10 часов

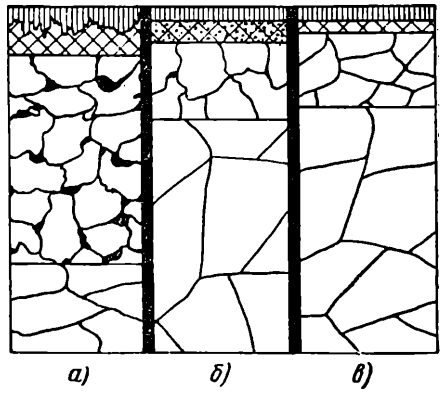
Изменения в слоях металла толщиной менее 3—10 *мк* не улавливаются рентгеноанализом. В этих случаях исследование поверхностного слоя может быть произведено методом с т р у к т у р н о й э л е к т р о н о г р а ф и и, основанном на диффракции электронов [1], позволяющей исследовать строение тончайшего поверхностного слоя различных материалов.

[1] Диффракция электронов — явление рассеяния потока электронов атомами, молекулами, аморфными или кристаллическими телами с образованием при некоторых условиях нескольких резко отграниченных пучков.

На фиг. 93 показаны поверхностные слои, исследованные методом структурной электронографии после обработки тонким шлифованием, притиркой и отделочным шлифованием. Поверхностные слои, как показало исследование, состоят из трех зон [54].

Первая зона, толщиной от 2 до 3 Å*, состоит из адсорбированной сгущенной пленки газа, которую можно удалить лишь нагревом поверхности в вакууме. Однако при соприкосновении поверхности с воздухом эта пленка незамедлительно образуется снова.

Вторая зона получается различной в зависимости от метода обработки. После тонкого шлифования она достигает 80 Å и состоит из сравнительно слабо соединенных между собой частиц окислов нитридов, и металла, обезуглероженного действием высоких температур, развивающихся при шлифовании. После притирки вторая зона достигает примерно 30 Å и состоит из частиц абразива, окислов и пыли, а после отделочного шлифования — 15Å и состоит из частиц окислов и пыли.



Фиг. 93. Структурное состояние поверхностных слоев стали после обработки:

а — тонким шлифованием, *б* — притиркой и *в* — отделочным шлифованием

Третья зона после тонкого шлифования распространяется на глубину примерно 50 000 Å и состоит из зерен металла, деформированных давлением шлифовального круга, и из карбидов, выделившихся под действием высоких температур. Карбиды, располагающиеся по границам зерен, делают этот слой хрупким. После притирки и отделочного шлифования третья зона достигает 15 000 Å и состоит из деформированных зерен металла. Далее третья зона постепенно переходит, образуя переходную зону влияния деформации, в нетронутый обработкой кристаллический металл.

Для исследования поверхностного слоя металла применяются также в лабораторных условиях метод стравливания слоев с определением микротвердости после каждого стравливания и метод определения наклепанного слоя по скорости стравливания металла и др.

Основание поверхностного слоя обработанных поверхностей у заготовок и деталей, как показали исследования, располагается

---

* Å — ангстрем (метрическая мера длины); 1 ангстрем равен одной десятимиллионной миллиметра.

адэкватно макрогеометрическим погрешностям формы поверхности, ее волнистости и микронеровностям.

Качество поверхностей заготовок, как черных, так и в процессе их механической обработки, имеет технологическое значение; оно оказывает влияние на величину припусков на обработку, на режимы резания при обработке заготовок, на погрешность установки заготовки для обработки. Это влияние частично рассмотрено при определении погрешности установки и будет развито в дальнейшем изложении. Здесь ограничимся общей характеристикой качества поверхностей заготовок, в первую очередь черных, а затем обработанных различными методами.

На поверхности проката остаются следы погрешностей поверхности прокатных валков, по мере износа которых поверхность проката ухудшается; по исследованиям автора высота поверхностных микронеровностей проката обычно не превышает 150 *мк*. Поверхностный слой проката обезуглерожен на глубину до 150 *мк*.

У холоднотянутой стали поверхностные микронеровности уменьшаются до 40—50 *мк*; обезуглероженный слой растягивается при волочении, и в силу этого его глубина обычно не превышает 50 *мк*.

У поковок высота поверхностных неровностей зависит от методов ковки. Наиболее грубая поверхность, со значительными неровностями, порядка 1,5—4 *мм*, получается при свободной ковке. На поверхностях горячештампованных поковок остаются следы окалины и воспроизводятся поверхностные погрешности штампов; при этом высота поверхностных микронеровностей в зависимости от веса поковок и состояния штампов находятся в пределах 150—500 *мк*. Поверхностный слой поковок состоит из зоны обезуглероживания и переходной зоны, в которой наблюдается частичное обезуглероживание. У горячештампованных заготовок глубина обезуглероженного слоя в зависимости от веса поковок находится в пределах 150—300 *мк*; при свободной ковке, также в зависимости от веса поковки, может получиться более глубокий обезуглероженный слой — порядка 500—1000 *мк*.

Поверхности отливок копируют в той или иной степени поверхности литейных форм. Наиболее грубая поверхность получается у отливок, залитых в земляную форму ручной формовки. Поверхностные неровности достигают в этом случае для мелких отливок 500 *мк*, а для крупных отливок 1500 *мк* и зависят от величины зерен формовочной смеси, плотности набивки формы, тщательности ее отделки и других факторов. При литье в земляные формы машинной формовки высота поверхностных неровностей достигает величины порядка 300 *мк*, при кокильном и центробежном литье 200 *мк*, при литье под давлением 5—10 *мк*.

Специфика технологических условий изготовления форм для литья по выплавляемой модели обусловливает высоту поверхностных микронеровностей для отливок, получаемых этим методом, в пределах 8—40 *мк*.

Литые заготовки серого чугуна имеют обычно перлитную корку на глубине порядка 300 *мк*[1] (перлитная зона) и за ней — зону со значительным содержанием феррита, переходящую постепенно в основную структуру (переходная зона).

Поверхностный слой литых стальных заготовок обычно имеет зону обезуглероживания глубиной до 200 *мк* и далее переходную зону с частичным обезуглероживанием.

В результате механической обработки стали снятием стружки наблюдаются три зоны:

а) зона резко выраженной деформации, которая характеризуется значительными искажениями кристаллической решетки, измельченными зернами, завихренным строением структурных составляющих и резким повышением микротвердости;

б) зона деформации, которая характеризуется вытянутыми зернами, наволакиванием одних зерен на другие и значительным снижением микротвердости сравнительно с верхним слоем;

в) переходная зона, представляющая собой зону влияния деформации и постепенного перехода к нормальному строению основного металла.

При обработке серого чугуна иногда обнаруживается слабо выраженная деформация на глубину не более 15 *мк*..

Чистота поверхностей в результате обработки снятием стружки изменяется в широких пределах в зависимости от методов и режимных условий обработки, от геометрии режущего инструмента и степени доводки режущего лезвия.

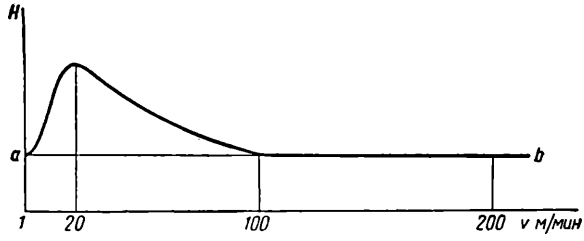
В зависимости от этих факторов и других технологических условий обработки лезвийными инструментами получаем: шероховатость $H_{ср}$ в пределах 5—200 *мк*, т. е. от 7 до 1-го класса чистоты поверхности по ГОСТу 2789-51; зону деформации от 50 до 500 *мк* и зону резко выраженной деформации от 10 до 100 *мк*. При тонкой обработке лезвийными инструментами получаем: 7—8-й класс чистоты ($H_{ср} \approx \approx 2 \div 6$ *мк*); зону деформации, не превышающую 50 *мк*; при этом зоны резко выраженной деформации не наблюдается. Шлифование дает $H_{ср} = 3 \div 15$ *мк* (т. е. 8—5-й класс чистоты), зону деформации 20—60 *мк* и зону резко выраженной деформации 10—20 *мк*. Тонкая обработка абразивными инструментами обеспечивает $H_{ср}$ в интервале значений 2—0,1 *мк* и менее (8—13-й класс чистоты) и зону деформации в пределах 1—5 *мк*.

Качество механически обработанной поверхности в значительной степени зависит от технологических условий обработки. Влияние режимов резания на чистоту поверхности стальных заготовок характеризуется следующими данными.

Шероховатость обработанной поверхности возрастает при обработке со скоростями резания, обусловливающими образование так

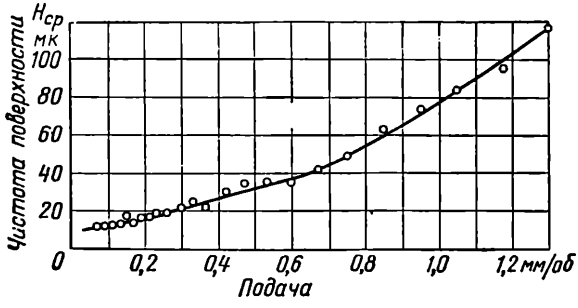
[1] В исследованиях автора глубина перлитной корки достигала в единичных случаях 420 и 540 *мк*, но в основном колебалась от 140 до 320 *мк*.

называемого нароста. При этом высота микронеровностей $H_{ср}$ достигает наибольшего значения при скоростях резания 15—20 *м/мин*. При дальнейшем увеличении скоростей резания, при прочих неизменных условиях, чистота поверхности улучшается, стабилизируясь при скоростях резания более 100—150 *м/мин*.



Фиг. 94. Кривая, характеризующая влияние скорости резания на чистоту поверхности.

Общий характер зависимости чистоты поверхности от скорости резания показан на фиг. 94, где высота микронеровностей до линии *ab* образуется в результате действия других причин, а увеличение



Фиг. 95. Влияние продольной подачи на чистоту поверхности при точении стали 45.

высоты микронеровностей выше линии *ab* относится за счет наростообразования.

С увеличением скорости резания глубина наклепа возрастает, однако при скоростях резания выше 200 *м/мин* она уменьшается.

Чистота поверхности ухудшается: при сверлении со скоростями резания в диапазоне 15—25 *м/мин*; при зенкеровании в диапазоне скоростей резания 20—35 *м/мин*; лучшая чистота поверхности получается при развертывании со скоростью резания 4—5 *м/мин* [20].

На фиг. 95 показана экспериментальная кривая влияния продольной подачи на чистоту поверхности при точении стали конструкционной марки 45 резцом с углом в плане 45° и радиусом закругления вершины 2,5 *мм* при скорости резания $v = 50$ *м/мин* и глубине

резания $t = 0{,}5$ *мм*. При увеличении подачи увеличивается и глубина наклепа.

На основании экспериментальных данных можно считать, что глубина резания не влияет на чистоту поверхности [1]. Глубина и степень наклепа также почти не изменяются с изменением глубины резания [20].

Однако влияние глубины резания на чистоту поверхности может иметь место при обработке пластичных металлов в зоне наклепа, образовавшегося на смежной предшествующей операции. В этих случаях чистота поверхности повышается сравнительно с резанием по слоям, не получившим наклепа при предшествующей обработке. Вообще говоря, повышение твердости обрабатываемого металла улучшает в той или иной степени чистоту обработанной поверхности и уменьшает степень и глубину наклепа.

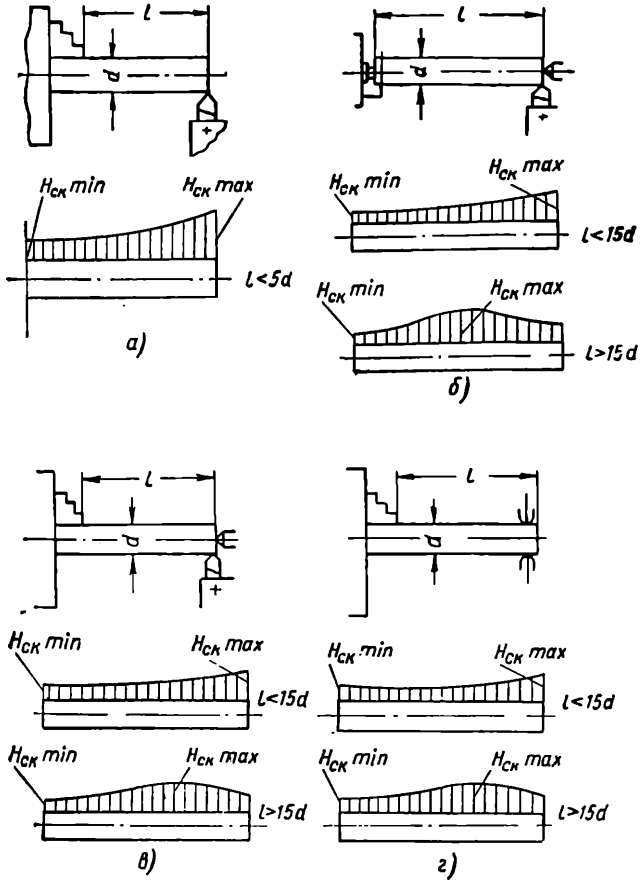
Соответствующим выбором охлаждающе-смазывающей жидкости можно достигнуть значительного улучшения чистоты поверхности и повышения стойкости инструмента [29].

Геометрические параметры режущего инструмента также влияют на чистоту поверхности. Экспериментальные данные показывают значительное влияние радиуса закругления вершины резца на чистоту поверхности. В небольшой степени влияет на чистоту поверхности величина переднего угла. Задний угол, определяющий поверхность трения инструмента с обрабатываемой поверхностью заготовки, также оказывает некоторое влияние на чистоту обработанной поверхности. Незначительно ухудшается чистота поверхности при увеличении главного угла в плане в пределах 30—60°. При увеличении вспомогательного угла в плане чистота поверхности также ухудшается [57].

Микронеровности режущей кромки инструмента копируются на обработанной поверхности; особенно это заметно при чистовой обработке инструментами с широкой режущей кромкой—развертками, протяжками, широкими резцами. Затупление режущего инструмента неблагоприятно отражается на чистоте обработанной поверхности. Помимо свойств обрабатываемого материала, геометрии режущего инструмента и явлений, связанных с процессом стружкообразования, на получаемую при обработке чистоту поверхности оказывает существенное влияние жесткость технологической системы станок—заготовка — инструмент. При неизменной характеристике жесткости станка и инструмента чистота поверхности зависит от конструктивных особенностей и размерных соотношений обрабатываемых заготовок, а также от жесткости их закрепления. При консольном креплении обрабатываемого вала (фиг 96, *а*) чистота поверхности понижается на свободном конце вала; при обработке в центрах с вращающимся задним центром (фиг. 96, *б*) чистота поверхности сни-

[1] Эксперименты производились при глубине резания 0,5—5 *мм*. При глубине резания, превышавшей 5 *мм*, опыты автором не производились; экспериментальными данными других исследователей автор не располагает.

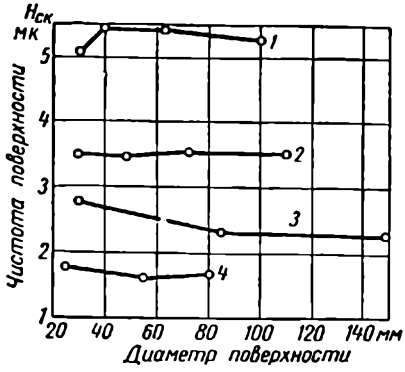
жается у заднего центра при длине вала l до 15 диаметров (d), а при большей длине вала чистота поверхности ухудшается от заднего центра к середине его длины и затем улучшается по мере приближе-



Фиг. 96. Схемы закрепления валов и эпюры значений $H_{ск}$ по их длине.

ния к переднему центру. Аналогичная картина создается при креплении вала в патроне и на заднем вращающемся центре (фиг. 96, *в*); однако в этом случае для валов длиной более $15d$ наиболее низкая чистота поверхности наблюдается на 0,4 длины вала от торца, поддерживаемого задним центром; на середину вала эта характеристика чистоты не распространяется. Совершенно такую же картину (фиг. 96, *г*) наблюдаем при креплении вала в патроне с установкой другого конца вала в люнете [31]. Таким образом, при обтачивании заготовок в неизменных условиях получается неоднородность

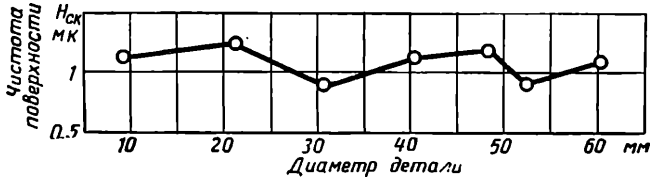
чистоты поверхности в пределах одного класса чистоты по ГОСТу 2789-51, а иногда в пределах двух смежных классов. Это говорит о трудности достижения в производстве чистоты поверхностей, ограниченной узкими пределами. Поперечный размер (диаметр) обрабатываемой детали не влияет на чистоту поверхности (фиг. 97). Опыты производились при обработке ступенчатых заготовок, при неизменных режимах резания для каждого из исследуемых материалов. Аналогичные опыты были проведены при шлифовании; они также подтвердили, что диаметр детали не влияет на чистоту поверхности (фиг. 98).



Фиг. 97. Влияние диаметра обрабатываемой заготовки на чистоту поверхности:

кривая *1* — при растачивании стали 45; кривая *2* — при обтачивании стали 45; кривая *3* — при обтачивании бронзы; кривая *4* — при обтачивании чугуна.

При шлифовании наиболее существенное влияние на чистоту поверхности оказывают: зернистость шлифовального круга — чем выше номер зернистости, тем выше чистота поверхности; окружная скорость круга — чем выше скорость, тем чище поверхность; скорость вращения (перемещения) обрабатываемой заготовки — чем выше скорость, тем ниже чистота поверхности; глубина шлифования — чем меньше глубина шлифования, тем чище поверхность; выхаживание (проходы без поперечной подачи) повышает чистоту поверхности.



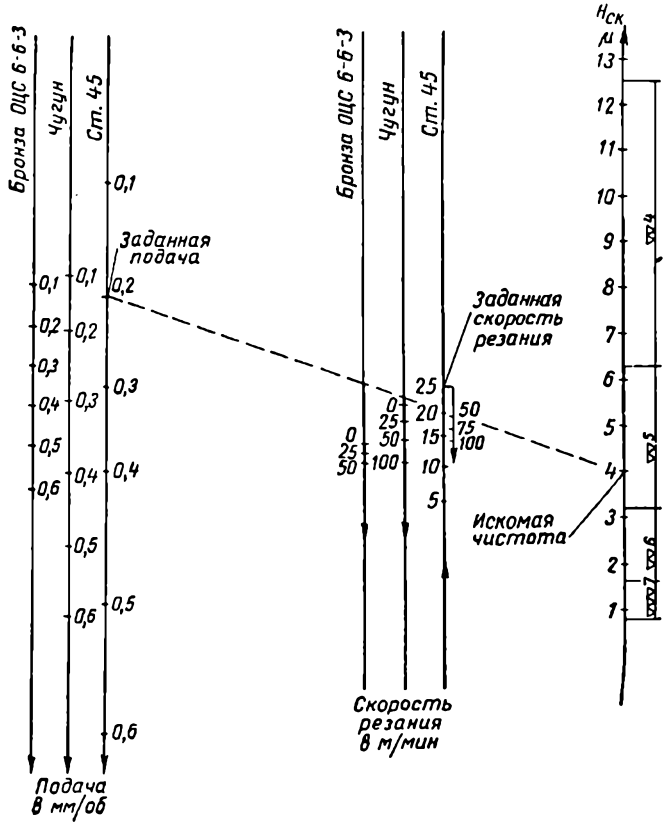
Фиг. 98. Влияние диаметра изготовляемой детали на чистоту шлифованной поверхности.

Зная влияние технологических условий обработки на качество поверхности, получаем возможность создавать условия обработки, обеспечивающие достижение заданной чистоты поверхности [57].

В практической работе технологи пользуются вспомогательными материалами, созданными на основе экспериментальных данных, для нахождения наиболее правильного сочетания условий обработки в целях получения заданной чистоты поверхности. Для ориентиро-

вочного определения чистоты поверхности в зависимости от режимов резания можно пользоваться номограммами типа приведенной на фиг. 99 [31].

При пользовании номограммой нужно учитывать следующее: номограмма служит для ориентировочного определения чистоты



Фиг 99. Номограмма для определения чистоты поверхности $H_{ск}$ при чистовом точении

поверхности, обточенной вновь заправленными резцами с радиусом закругления при вершине 2,0—3,0 *мм*; предусмотрена обработка стали 45 с охлаждением эмульсией, обработка чугуна и бронзы без охлаждения. При затуплении резца чистота ухудшается на 15—20%; при растачивании отверстий чистота понижается на один разряд.

Определяемая по номограмме чистота поверхности может быть обеспечена при достаточной жесткости системы станок — заготовка—инструмент.

Класс чистоты поверхности задается конструктором, который, чтобы не осложнять технологический процесс обработки, не должен предъявлять необоснованно повышенных требований к чистоте поверхностей конструируемой им детали.

Существует определенная технологическая взаимосвязь между точностью обработки и чистотой поверхности, заключающаяся в том, что методы обработки, применяемые для достижения высокой точности, обеспечивают также и высокую чистоту поверхности, а методы, применяемые для предварительной обработки, дают и меньшую точность и более грубую поверхность [1]. Технолог весьма заинтересован в сохранении этой взаимосвязи на рабочих чертежах детали [2].

Однако в ряде случаев при невысоких классах точности требуется высокая чистота поверхности. В этих случаях прибегают к отделочному шлифованию или полированию, которые не повышают точность обработки, либо, если требуется менее высокая чистота поверхности, к однократному шлифованию, которое повышает несколько и точность обработки.

При назначении класса чистоты поверхности можно также пользоваться следующими общими указаниями.

Для свободных несопрягаемых поверхностей, обрабатываемых в целях соблюдения габаритных размеров и удаления излишка материала чугунных и стальных деталей, можно ограничиваться 4-м и даже 3-м классами чистоты; для цветных сплавов в этом случае задается обычно 5-й класс чистоты.

Для неответственных деталей, размеры которых, принятые по конструктивным соображениям, обеспечивают большой запас прочности, можно назначать 4—5-й классы чистоты поверхности, если эти детали не испытывают значительных растягивающих напряжений и работают в условиях, не вызывающих вибраций.

Для стальных деталей, испытывающих сравнительно небольшие напряжения на наружной поверхности, следует назначать не ниже 5-го класса чистоты поверхности.

Для подвижных сопряжений с прямолинейным непродолжительным перемещением при небольшой скорости и невысокой нагрузке и для неподвижных ответственных соединений назначают 5-й класс чистоты поверхности.

Для деталей вращательного движения (шейки валов, втулки), работающих с небольшой нагрузкой при незначительной скорости и для неответственных деталей, работающих на растяжение, можно ограничиваться 7-м классом чистоты поверхности.

Для деталей вращательного движения, работающих с большими скоростями, для ответственных деталей, работающих на растяжение (например, стяжные болты двигателей), для уплотняющих колец,

---

[1] См. приложения 5а и 5б.

[2] В приложении 5в даны указания по назначению чистоты поверхности в зависимости от заданного допуска на размер.

для подвижных сопряжений с прямолинейным перемещением при значительной скорости и высокой нагрузке следует назначать 8-й класс чистоты поверхности.

Для тяжело нагруженных опор и цапф и для шеек валов и скалок, работающих с уплотнением, следует назначать 9—10-й класс чистоты поверхности.

Для подвижных сопряжений в условиях высоких скоростей и давлений назначают 11—12-й и даже 13-й классы чистоты поверхности.

Эти указания к назначению чистоты элементарных поверхностей деталей машин следует рассматривать как ориентировочные опытные данные. По-видимому, для каждого материала, в зависимости от назначения и эксплуатационных условий работы детали, может быть установлена оптимальная чистота поверхности, повышающая износостойкость металла. Наряду с этим возникает вопрос об износостойком поверхностном слое, в первую очередь подвергающемся разрушению при эксплуатации.

Развитие учения о качестве поверхности, наряду с современными достижениями науки и техники, несомненно, приведет к успешному решению поставленных задач. В частности, развитие атомной техники позволяет поставить вопрос об упрочнении поверхностного слоя деталей и изменении механических и химических свойств металла путем ядерного облучения.

ГЛАВА III

ХАРАКТЕРИСТИКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ПРОИЗВОДСТВА В МАШИНОСТРОЕНИИ

§ 1. ХАРАКТЕРИСТИКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ПРОИЗВОДСТВА ДЕТАЛЕЙ МАШИН

Целевое назначение и общее содержание характеристики технологических методов производства деталей машин.

Металлические детали машин. Заготовки для металлических деталей машин.

Прокат. Применение проката специальных профилей. Применение профильного волочения. Характеристика методов правки и резки проката.

Поковки. Характеристика методов изготовления поковок: свободной ковкой, ковкой в подкладных штампах, штамповкой в закрепленных штампах. Характеристика методов калибровки штампованных поковок. Области применения: вертикально-ковочных, ротационно-ковочных, горизонтально-гибочных машин и ковочных вальцов.

Детали машин, изготовляемые холодной высадкой и листовой штамповкой. Характеристика и области применения этих методов.

Отливки. Характеристика методов изготовления заготовок и деталей машин литьем в почву, в земляные формы в опоках, в стержневые формы, в постоянные формы, центробежным литьем, литьем под давлением, литьем по выплавляемой модели, литьем в оболочковые формы.

Механическая обработка заготовок. Характеристика методов механической обработки.

Электрическая обработка заготовок. Характеристика электрохимических и электроискровых методов обработки.

Обработка ультразвуковыми колебаниями.

Очистка деталей машин и заготовок в процессе обработки.

Термическая и химико-термическая обработка. Краткая характеристика и области применения методов термической обработки. Краткие сведения о деформации стали при термической обработке.

Нанесение покрытий на детали машин. Краткая характеристика и назначение гальванических покрытий, металлизации распылением и лакокрасочных покрытий. Покрытие деталей смазкой.

Исправление брака заготовок в процессе производства деталей машин.

Металлокерамические детали машин. Общая характеристика методов производства металлокерамических деталей машин.

Детали машин из пластмасс. Общая характеристика методов производства деталей машин из пластмасс. Особенности обработки пластмасс резанием.

Для выбора технологических методов производства дадим точностную характеристику этих методов и укажем области их применения.

Характеристика технологических методов производства деталей машин имеет целью ориентировать технолога относительно выбора технологических методов применительно к заданным производственным условиям. Сущность рассматриваемых методов в характеристике, как правило, не излагается, так как эти методы известны из предшествующих курсов. Поэтому ограничиваемся в основном точностной характеристикой методов производства.

Характеризовать трудоемкость процессов производства и производительность труда применительно к различным технологическим методам не представляется, к сожалению, возможным, так как эти показатели изменяются в широких пределах для одного и того же технологического метода в зависимости от ряда факторов (конфигурации, размеров, веса детали и т. д.).

Поэтому в возможной степени указываются области применения рассматриваемых методов и сообщаются по ним сведения, которые могут быть полезными при разработке комплексных технологических процессов и выборе технологии производства на основе увязки выходных параметров процессов выполнения заготовок с последующей их обработкой.

Учитывая взаимосвязь заготовительных процессов с последующей обработкой заготовок, дадим характеристику методов выполнения заготовок и методов их обработки.

Переходя к характеристике технологических методов производства дадим некоторые определения.

З а г о т о в к о й назовем отливку, поковку, прокат, которые подвергаются последующей обработке для получения готовой детали. Такую заготовку до начала обработки будем называть ч е р н о й з а г о т о в к о й.

Деталь может быть получена не только в результате обработки заготовки на станках, но и непосредственно литьем или обработкой давлением, если при этом достигается полная идентичность ее детали, заданной чертежом.

Обжатый слиток для свободной ковки крупных деталей, отрезанный кусок сортового проката для свободной ковки или штамповки назовем и с х о д н о й з а г о т о в к о й.

А. Металлические детали машин

При выборе заготовки необходимо учитывать:

а) конфигурацию, размеры и вес заготовки;

б) материал заготовки, назначаемый применительно к требованиям, предъявляемым к детали (прочность, износоустойчивость и т. п.);

в) количество выполняемых заготовок;

г) желательное направление волокон металла, определяющее для поковок построение процесса обработки;

д) точность выполнения и качество поверхности заготовки.

Прокат

В машиностроении прокат применяется как исходный материал для поковок и для непосредственного изготовления из него деталей путем обработки снятием стружки на металлорежущих станках.

Для непосредственного изготовления деталей машин из проката применяют калиброванные прутки и горячекатаную сталь повышенной и обычной точности.

По ГОСТу 7417-57 калиброванные прутки изготовляют диаметром от 3 до 30 *мм* по классу точности 2*а*, от 3 до 65 *мм* — по 3-му и 3а классам точности и от 3 до 100 *мм* — по 4 и 5-му классам точности. При креплении в цанговых зажимах применяются калиброванные прутки 5-го класса точности. Калиброванные прутки 4-го и высших классов точности обычно не подвергают обработке лезвийным инструментом, а непосредственно шлифуют.

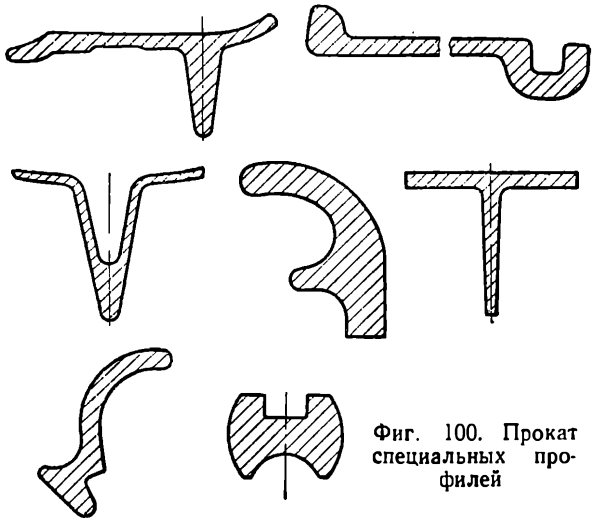
По ГОСТу 2590-57 круглая горячекатаная сталь повышенной точности изготовляется диаметром 5—150 *мм*; диаметральные размеры ее выдерживаются приблизительно по 8-му (до 56 *мм*), по 9-му (свыше 50 до 125 *мм*) и грубее 9-го (130—150 *мм*) классам точности; круглая горячекатаная сталь обычной точности изготовляется диаметральными размерами 5—250 *мм*, которые выдерживаются приблизительно по 9-му классу точности (до 95 *мм*) и несколько грубее 9-го класса точности для размеров 100—250 *мм*. Предварительная обработка горячекатаной стали производится лезвийным инструментом либо из отрезанных заготовок, либо непосредственно из прутка.

В ряде случаев для изготовления деталей соответствующей конфигурации применяют квадратную, шестигранную, полосовую, угловую. швеллерную и других профилей стали, а также бесшовные и сварные трубы.

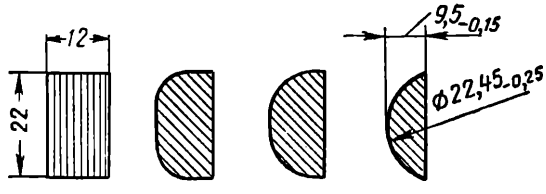
В условиях крупносерийного и массового производства (сельхозмашиностроение, вагоностроение, автомобилестроение) оправдывается применение проката специальных профилей (фиг. 100), почти полностью исключающего или значительно сокращающего механическую обработку, на долю которой остается в основном отрезка, сверление отверстий и зачистка. В тех случаях, когда в силу технических условий все же требуется обработка некоторых поверхностей проката специальных профилей, съем стружки значительно уменьшается и сокращается время, затрачиваемое на обработку.

При изготовлении деталей высоких классов точности из проката применяют в целях сокращения обработки снятием стружки х о л о д н о е п р о ф и л ь н о е в о л о ч е н и е. Этим методом может быть получен профиль, соответствующий контуру готовой детали, причем размеры могут быть выдержаны с допусками, исключающими необходимость последующей обработки резанием.

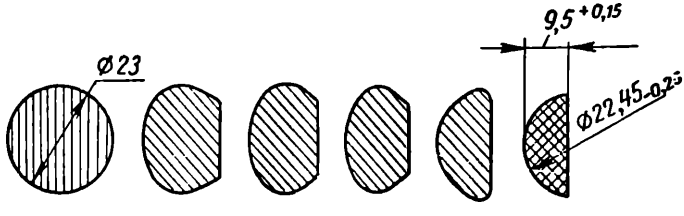
На фиг. 101 показаны последовательные переходы при волочении полосовой стали для получения прутка с профилем сегментной шпонки. На фиг. 102 показано волочение этих шпонок из круглого



Фиг. 100. Прокат специальных профилей



Фиг 101. Волочение полосовой стали для сегментных шпонок



Фиг 102. Волочение круглой стали для сегментных шпонок

проката и на фиг. 103 — волочение фасонного профиля из круглого проката.

Метод холодного профильного волочения стали является дешевым и высокопроизводительным и обеспечивает значительную экономию металла. Например, при волочении сегментных шпонок из прямоугольного профиля стали 45 с последующей рубкой на прессах и шлифованием плоскостей расход металла на одну шпонку составляет 9,6 *г*, а при обработке снятием стружки на ту же шпонку расходуется 13,8 *г*; таким образом, экономия металла на 1 шт. составляет 4,2 *г*, или более 30%. Производительность при этом повышается более чем в 3 раза. Вместе с тем холодное профильное волочение повышает поверхностную твердость и износостойкость деталей.

Наиболее целесообразным является применение профильного волочения для деталей с одинаковым фасонным профилем по всей длине. Холодным волочением могут быть получены самые разнообразные профили: храповые колеса, мелкие шестерни, угловые, корытообразные и другие сложные профили. При этом без затруднений выдерживается 4-й класс точности и 6-й класс чистоты поверхности.

Механической обработке заготовок из проката предшествует правка прутков и резка проката на заготовки. Отрезанные заготовки также подвергаются в ряде случаев правке в процессе механической обработки.

Правка проволоки производится на правильно-отрезных станках. Правка осуществляется роликами, отрезка производится ножом по упору (фиг. 104). Остающаяся после правки кривизна достигает 0,5—0,7 *мм* на 1 *пог. м* проволоки.

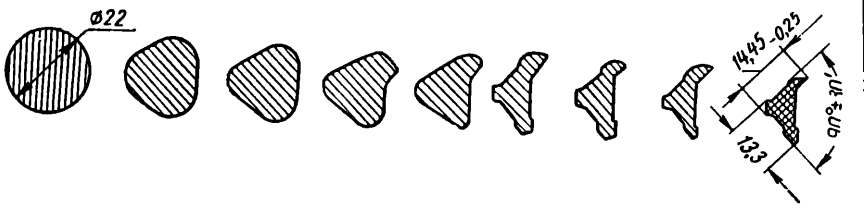
Правка прутков осуществляется на правильно-калибровочных станках. Правка производится правильными, а калибровка — отдельными калибрующими роликами (фиг. 105). Остающаяся после правки кривизна черного прутка достигает 0,9—0,5 *мм* на 1 *пог. м*.

Правильно-калибровочные станки применяются также для правки и калибровки длинных прутковых заготовок после обработки их на бесцентрово-токарных станках. В этом случае остающаяся после правки кривизна достигает 0,2—0,1 *мм* на 1 *м* длины вала и может быть уменьшена до 0,05 *мм/м*.

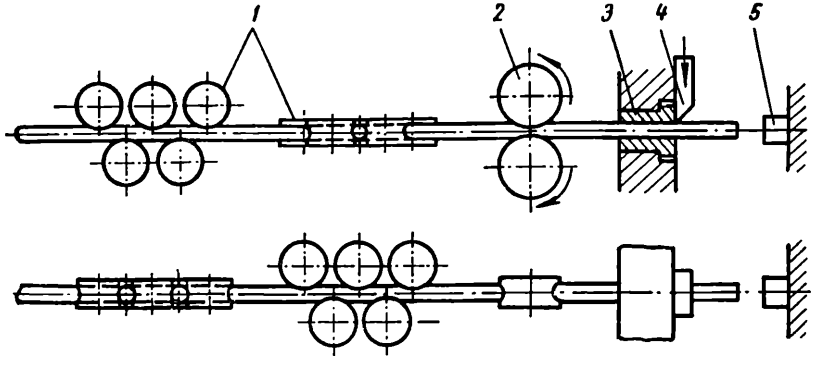
Правка на правильно-калибровочных станках является высокопроизводительным методом: 1,4—1,6 *м/мин* при правке и 0,6—0,8 *м/мин* при калибровке прутков. Точность калибровки по диаметру достигает 30—50 *мк*.

Холодная правка нарезанных из проката заготовок, а также холодная правка поковок производится на прессах, а цилиндрические заготовки небольшой длины правятся на накатных станках с гладкими плашками.

Холодная правка на прессах (фиг. 106) применяется для зацентрованных заготовок. Место и величина прогиба определяются индикатором при провертывании заготовки в центрах,

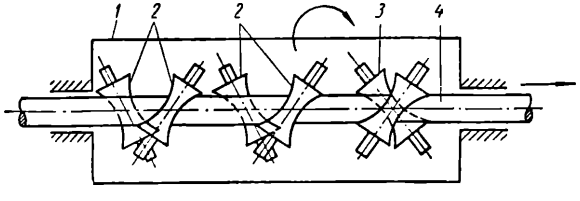


Фиг 103. Волочение круглого проката для получения фасонного профиля.



Фиг. 104. Схема правильно-отрезного станка:

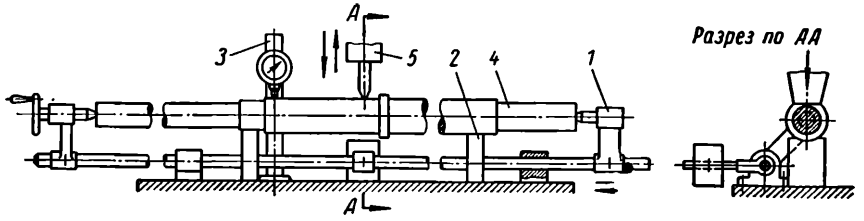
1 — правильные ролики; *2* — тянущие ролики, *3* — отрезное кольцо; *4* — отрезной нож; *5* — упор.



Фиг. 105. Схема правильно-калибровочного станка:

1 — вращающаяся рама; *2* — правильные ролики; *3* — калибрующие ролики; *4* — пруток, подвергающийся правке.

которые затем отводятся, а заготовка опускается на жесткие опорные призмы. Прилагаемое усилие и величина хода ползуна регулируются в приводных прессах нажимом педали. Остающаяся после правки кривизна заготовки составляет в зависимости от ее диаметра 0,05—0,15 *мк* на 1 *мм* общей длины заготовки.

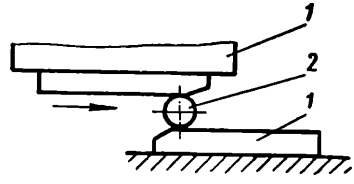


Фиг. 106. Схема правки заготовок на прессе:

1 — отводимые центры; *2* — опорные призмы; *3* — индикатор; *4* — заготовка; *5* — ползун.

Разновидностью этого метода является правка заготовки, установленной в центрах, струбциной вручную. При той же точности правки производительность труда при правке струбциной значительно ниже, чем при правке на прессах.

Холодная правка на накатных станках с гладкими плашками (фиг. 107) применяется для незацентрованных цилиндрических заготовок небольшой длины. Правка достигается прокатыванием заготовки между плоскими гладкими плашками. Этот метод обеспечивает высокую производительность труда при точности правки 0,05—0,15 *мк* на 1 *мм* общей длины заготовки.



Фиг. 107 Схема правки цилиндрических заготовок на накатных станках:

1 — плоские гладкие плашки; *2* — заготовка.

В результате холодной правки происходит перераспределение внутренних напряжений в материале, вызывающее деформацию детали. Поэтому холодную правку не применяют при изготовлении особо ответственных деталей машин.

Резка заготовок для механической обработки проката производится на ножницах и прессах, распиливанием, отрезными резцами на станках токарного типа, анодно-механическим способом, фрикционными дисками, газовой (кислородной) резкой и дуговой электрорезкой.

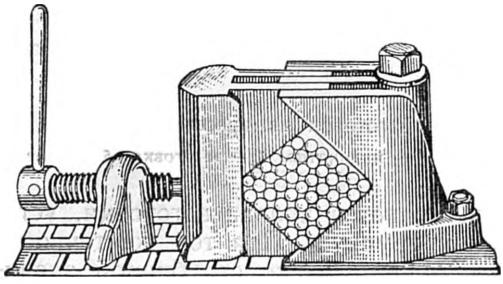
Резка на ножницах и прессах является высокопроизводительным методом резки заготовок из проката. Однако при этом методе резки получается вмятина; величина ее в направлении, перпендикулярном к резу, определяется на основании опытных

данных равной не более 0,2 толщины полосы, стороны квадрата или диаметра прутка. Величину вмятины необходимо учитывать при последующей обработке отрезанной заготовки.

Выпускаемые нашей промышленностью модели комбинированных ножниц предназначены для резки листовой, полосовой, круглой, квадратной, угловой, швеллерной и двутавровой стали [1].

Резка распиливанием производится на приводных ножовках, ленточными пилами, дисковыми пилами и абразивными кругами.

Резка на приводных ножовках является наименее производительным методом распиливания, но широко применяется благодаря универсальности этого метода, обеспечивающего возможность резки в широком диапазоне размеров [2] при любом профиле и любой длине заготовки. Другим преимуществом этого метода является незначительная потеря металла на пропил (толщина ножовочного полотна составляет 1,2—2,5 *мм*).



Фиг. 108. Призматические тиски для резки прутков пакетами на приводных ножовках.

В целях повышения производительности при резке на приводных ножовках распиливание прутков производят пакетами в призматических тисках (фиг. 108).

Резка на ленточных пилах широко применяется для отрезки литников, выпоров и прибылей у литых заготовок.

Резка дисковыми пилами является широко применяемым универсальным и высокопроизводительным методом распиливания. Применяются дисковые пилы диаметром 275—2000 *мм* и шириной 5—14,5 *мм* (ГОСТ 4047-52) [3].

К этому же методу резки относится разрезание на горизонтально-фрезерных станках отрезными фрезами, которые по ГОСТу 2679-54 изготовляются диаметром 60—200 *мм*, шириной 1,5 *мм*, с числом

---

[1] Например, ножницы комбинированные, модель НА-633, предназначены для резки листа до 16 *мм*, полосы 16 × 150 *мм*, круглого проката диаметром до 55 *мм*, квадратного проката до 45 *мм*, уголка размером 100 × 100 × 12 *мм*, швеллера № 20, двутавра № 20. Ползун ножниц делает 24 хода в минуту; модель Н-514 режет лист до 16 *мм* и круглый прокат до 60 *мм*; модель ППН-1 режет лист до 14 *мм* и круглый прокат до 40 *мм* и т. д.

[2] Например, отрезной гидрофицированный станок с ножовочной пилой, модель 872, предназначен для распиливания заготовки диаметром до 220 *мм*.

[3] Например, распиловочный станок модель Р-2 имеет наибольший диаметр дисковой пилы 600 *мм* и разрезает заготовки диаметром до 200 *мм*; отрезной станок модель 867 имеет дисковую пилу диаметром 1010 *мм*; отрезной станок модель 868 имеет дисковую пилу диаметром 1430 *мм* и т. д.

зубьев 30—60 или 18—30, в зависимости от конструктивного исполнения. Резка производится обычно при подачах 0,01—0,03 *мм/зуб.*

Резка абразивными кругами применяется для разрезания закаленных стальных заготовок, а также прутков из инструментальных сталей и других твердых материалов. Круги для отрезки изготовляются на бакелитовой или вулканитовой связке и допускают окружную скорость круга: на бакелитовой связке 50 *м/сек*, на вулканитовой связке 30 *м/сек.*

Величина пропила при разрезании в 1,5—2 раза превышает толщину инструмента — ножовочного полотна, ленточной пилы, дисковой пилы, отрезной фрезы или абразивного круга.

Резка отрезными резцами на станках токарного типа применяется обычно для заготовок из прутка или трубы, а также для предварительной разрезки прутков и труб на мерные заготовки. Наибольший диаметр разрезаемого прутка зависит от модели станка. Имеются крупные станки для разрезания слитков; например слиткоразрезной станок, модель 1865, предназначен для разрезания слитков диаметром до 600 *мм* и длиной до 3200 *мм*. В тяжелом машиностроении успешно применяют резку отрезными резцами деталей значительно большего диаметра при вылете резцов, достигающем 650 *мм*. Резцы оснащены твердым сплавом Т5К10; ширина их 18—22 *мм*. Резка производится с подачами 0,2—0,4 *мм/об* при скорости резания 35—200 *м/мин* в зависимости от обрабатываемого материала и наличия охлаждения.

Обычно отрезка производится не до конца, а оставляется шейка диаметром 0,07—0,2 диаметра отрезаемой заготовки, которая по окончании резки отламывается. Однако опыт показывает, что как при отрезке без оставления шейки, так и при отрезке заготовок с центральным отверстием поломки инструмента наблюдаются редко.

Точность резки по длине заготовки не зависит от рассмотренных методов резки и длины заготовки, но зависит от ее поперечного размера, так как отклонение от перпендикулярности поверхности реза (торца) к оси заготовки возрастает пропорционально поперечному ее размеру, а при отрезке резцами — радиусу прутка или разнице радиусов наружной и внутренней поверхностей для труб.

Анодно-механическая резка производится вращающимся беззубым диском или беззубой лентой, аналогично дисковой или ленточной пилам. При этом разрезаемый пруток — анод соединен с положительным полюсом, а инструмент, т. е. диск или лента — катод — с отрицательным полюсом низковольтного генератора. Инструмент скользит с небольшим давлением по плоскости реза, а струя рабочей жидкости подается соплом в зазор между прутком и инструментом; на поверхности анода образуется плохо проводящая ток пленка; разрушение металла происходит в результате электрохимического растворения пленки и механического удаления ее диском или лентой. Твердость и прочность металла заготовки при анодно-механической резке не имеет существенного значения;

этим методом можно резать любые металлы, включая и твердые сплавы.

Электрические параметры режима анодно-механической резки определяются следующими данными: рабочее напряжение тока 20—30 *в*; сила рабочего тока 20—500 *а*; плотность тока 70—500 *а/см²*. Для анодно-механической резки обычно применяют постоянный ток. Переменный ток снижает интенсивность процесса и повышает износ инструмента.

Применяемые для резки металлов диски изготовляют преимущественно из листовой стали. На выпускаемых нашей промышленностью станках для анодно-механической резки применяются диски диаметром 200—1050 *мм* и толщиной 0,5—2 *мм*. Износ дисков составляет 25—30% от веса удаленного металла и зависит от режима и условий проведения процесса. Ширина реза определяется толщиной диска и зависит от его жесткости и осевого биения; обычно ширина реза в 1,5—2 раза больше толщины диска.

В качестве рабочей жидкости применяют водный раствор жидкого стекла, соли фосфорной или кремниевой кислоты, сернистый натрий, взвеси глины в воде и другие жидкости, способные образовывать на аноде пленку, плохо проводящую ток. Подача жидкости составляет 5—35 *л/мин*, в зависимости от диаметра разрезаемого прутка.

Окружная скорость диска 15—20 *м/сек*; подача 7—30 *мм/мин*; удельное давление диска 0,5—2 *кг/см²*, в зависимости от диаметра разрезаемого прутка.

В связи с незначительными давлениями, при которых протекает процесс, достигается высокая точность резки (300—600 *мк* при диаметре отрезаемого прутка 18—120 *мм*). Чистота поверхности при анодно-механической резке находится в пределах 2—4-го класса чистоты по ГОСТу 2789-51. Твердость поверхности у стали несколько повышается лишь при жестких режимах за счет термических воздействий. Съем металла составляет 2000—6000 *мм³/мин* на дисковых и свыше 6000 *мм³/мин* на ленточных станках.

В результате резки с высокими плотностями тока образуется «белый» поверхностный слой глубиной 10—30 *мк*. При малых плотностях тока изменения структуры не наблюдается [1].

Резка фрикционными дисками является высокопроизводительным методом мерной резки проката любых профилей и марок, включая высокопрочные труднообрабатываемые конструкционные стали.

Процесс резки фрикционными дисками основан на использовании теплоты трения, возникающей в месте контакта разрезаемого

---

[1] Различные модели станков для анодно-механической резки применяются в зависимости от размеров отрезаемой заготовки; в частности, например:

Модель станка	АМО-32	4821	АМО-12
Наибольший диаметр прутка в *мм*	100	150	300

металла с кромкой диска. Температура разрезаемого металла при этом повышается настолько (до 800—1100°), что он легко удаляется из пропила в виде пучка искр при весьма незначительном износе фрикционного диска. Иногда в связи с повышением температуры в зоне пропила происходит плавление частиц металла. Применяют диски с гладкой или насеченной кромкой (шаг насечки 3—4 *мм*, глубина насечки 1,5—2,0 *мм*); окружная скорость диска 60—110 *м/сек*. Диаметр диска выбирают в зависимости от размера разрезаемого материала. В частности, например, для резки проката диаметром до 20 *мм* применяют диск 500 × 3,5 *мм*; для проката диаметром 100 *мм* — диск 700 × 5 *мм*; для резки тонкостенных труб диаметром 130 *мм* применяют диск 400 × 2,5 *мм*. Толщину диска B принимают по соотношению $B = 0{,}007D$ *мм*, где D — диаметр диска в *мм*.

Диск зажимается между шайбами, диаметр которых $D_ш$, во избежание вибраций должен быть $D_ш \geqslant 0{,}5D$.

При резке прутков диаметром больше 10 *мм* рекомендуется применять охлаждение диска. Производительность резки фрикционным диском выше производительности резки дисковой пилой приблизительно в 2,5 раза и в 9 раз выше производительности резки приводной ножовкой.

Газовая (кислородная) резка применяется главным образом для резки листовой, полосовой и квадратной стали, но этот метод может быть применен также и для резки профильного проката. Правильно выполненная газовая резка не вызывает пережога и оплавления кромки реза. В поверхностном слое реза на глубину 2—5 *мм* получается нормализация стали, а при резке закаливающейся стали — закалка. Получившаяся высокая твердость устраняется местным или общим отжигом.

Чистый рез обеспечивается при содержании углерода до 0,3%; с повышением содержания углерода чистота реза ухудшается, а процесс резки замедляется; при содержании углерода свыше 0,8% не следует применять газовую резку.

Некоторые легирующие элементы, в зависимости от содержания их в стали, затрудняют газовую резку (3% Cr; 0,25% Mo; 10% W; 2% Al) или препятствуют резке (5% Cr; 20% W; 10% Al). Содержание никеля свыше 20% несколько замедляет резку. Марганец, кремний, медь, ванадий, титан, фосфор и сера в количествах, применяемых в конструкционной стали, не препятствует резке.

Газовой резкой по шаблону (копирная резка) можно получать из толстолистовой, полосовой или квадратной стали заготовки весьма сложной конфигурации, почти не требующие благодаря точности и чистоте реза последующей механической обработки (звездочки, зубчатые колеса и т. п.). Обычная точность резки $\pm$ 0,5 *мм*; при резке на точных машинах $\pm$ 0,2 *мм*.

Дуговая электрорезка применяется как для черных, так и для цветных металлов и сплавов.

При дуговой электрорезке металл разрезается в результате его расплавления в зоне реза. Этот метод не обеспечивает вследствие оплавления кромки точности и чистоты реза, которые получаются при кислородной резке, но при достаточной квалификации резчика дает в ряде случаев вполне удовлетворительные результаты.

Поковки

Поковки могут быть получены свободной ковкой, ковкой в подкладных штампах и штамповкой в закрепленных штампах. Исходными заготовками для поковок являются слитки и прокат. Слитки применяют для крупных поковок, получаемых свободной ковкой.

Слитки представляют собой усеченную пирамиду квадратного или многоугольного сечения, либо (при круглом сечении слитков) усеченный конус. Отношение длины слитка к среднему поперечному размеру принимается от двух до трех.

Слитки отливаются с прибылью, которую располагают у широкого конца слитка. В процессе ковки как прибыль, в которой располагается усадочная раковина, так и донная часть слитка удаляются; при этом с удаляемой прибылью отходит 20—35%, с донной частью 5—10% от веса слитка.

Сортовой прокат применяют для средних и мелких поковок, получаемых как свободной ковкой, так и штамповкой. Свободной ковкой можно выполнять поковки от самых мелких до самых крупных размеров, весом порядка 200 *т* и более. Горячая штамповка применяется для поковок обычно весом от долей килограмма до 200 *кг*. В некоторых случаях горячей штамповкой изготовляют поковки и большего веса. Штамповка сравнительно со свободной ковкой обеспечивает более высокую точность и значительно бóльшую производительность.

Рассмотрим области применения различных методов изготовления поковок.

Свободная ковка производится на ковочных молотах (паровоздушных, пневматических, рессорно-пружинных) и гидравлических ковочных прессах.

Для мелких фасонных поковок весом до 40 *кг*, изготовляемых из сортового проката, применяют пневматические или рессорно-пружинные, а иногда и паровоздушные молоты с весом падающих частей до 1 *т*.

Средние фасонные поковки весом до 300 *кг*, исходным материалом для которых служит крупный прокат или обжатая болванка, куют на паровоздушных молотах с весом падающих частей 1—3 *т*, а более крупные поковки (фасонные весом до 700 *кг* и гладкие валы весом до 1500 *кг*) выполняют на паровоздушных молотах с весом падающих частей 5 *т* и на гидравлических ковочных прессах силой пресса до 800 *т*.

Применением ковочных прессов повышают производительность труда на 30—50% сравнительно с ковкой на паровоздушных моло-

тах. Тяжелые поковки, исходным материалом для которых служат слитки (средним весом 2—160 *т* и максимальным весом до 240 *т*), куются на гидравлических ковочных прессах силой пресса свыше 800 и до 10 000 *т*. Более тяжелые поковки должны коваться на более мощных прессах.

Таким образом, поковки для крупных деталей тяжелого машиностроения выполняются исключительно свободной ковкой. Применение свободной ковки для мелких и среднего веса деталей целесообразно лишь в условиях единичного производства.

Допуски δ на размеры поковок, изготовляемых свободной ковкой на прессах, по ГОСТу 7062-54 находятся в пределах 12—72 *мм* в зависимости от конфигурации и размеров поковки. В частности, например, для сплошных поковок круглого сечения размерами $\varnothing$ 200 × 1000 *мм* допуск $\delta = 12$ *мм*, а для поковки $\varnothing$ 1000 × × 20 000 *мм* $\delta = 40$ *мм*; для раскатных колец наружным диаметром 630 *мм* и высотой 250 *мм* $\delta = 26$ *мм*, а для размеров соответственно $\varnothing$ 4000 × 1000 *мм* $\delta = 72$ *мм*; для баб с поперечным размером 315 *мм* и длиной 630 *мм* $\delta = 20$ *мм*, а при размерах 1600 × 1500 *мм* $\delta =$ $= 48$ *мм* и т. д.

Ковка в подкладных штампах производится на ковочных молотах или на гидравлических ковочных прессах и применяется в условиях мелкосерийного производства.

Простые поковки можно иногда штамповать на окончательную конфигурацию непосредственно из исходного материала — круглого или квадратного проката. Обычно же необходимо предварительно приблизить форму заготовки к окончательной конфигурации поковки. Эти заготовительные операции при штамповке в подкладных штампах производятся обычно свободной ковкой. В связи с тем, что окончательная конфигурация поковки получается в подкладном штампе, точность выполнения заготовки повышается сравнительно со свободной ковкой [1].

За счет сокращения времени, затрачиваемого на придание поковке окончательной конфигурации, производительность при штамповке в подкладных штампах значительно возрастает сравнительно со свободной ковкой.

Штамповка на штамповочных молотах производится в закрепленных штампах и применяется в серийном и массовом производстве.

Подготовка исходной заготовки (проката) для получения окончательной конфигурации поковки производится в заготовительных ручьях, выполненных в одном штамповом блоке с окончательным ручьем (в многоручьевых штампах). При невозможности разместить все ручьи в одном штампе процесс штамповки расчленяется и выполняется на двух и более молотах. Расчленение процесса штам-

[1] Допуски на размеры заготовок, выполняемых ковкой в подкладных штампах, соответствуют приблизительно третьей группе точности по ГОСТу 7505-55.

повки целесообразно иногда в условиях массового производства в целях рациональной загрузки оборудования и повышения производительности труда. При этом процесс штамповки осуществляется на двух и более молотах или на ковочных вальцах и молоте, на горизонтально-ковочной машине и молоте или при ином комбинировании машин-орудий ковочного производства.

При штамповке мелких поковок применяют в целях повышения производительности труда многоштучную штамповку. Однако в целях упрощения наладки молота не рекомендуется делать в одном ручье более трех фигур.

Значительное повышение производительности труда при штамповке дают заготовки периодического профиля, получаемые путем периодического проката или периодической вальцовки на ковочных вальцах. Применением заготовок периодического профиля либо вовсе исключаются заготовительные ручьи штампа, либо их число значительно сокращается и, следовательно, повышается производительность молота. В ряде случаев целесообразно применение при штамповке проката специальных профилей.

Значительные преимущества дает индукционный нагрев под штамповку; при этом методе нагревания заготовки обезуглероженный слой уменьшается в 8—10 раз, а слой окалины уменьшается в 2—3 раза сравнительно с нагревом в пламенных печах. Вместе с тем индукционный нагрев несравненно улучшает условия труда, обеспечивает высокую скорость нагрева и возможность автоматизации подачи и выдачи заготовок с регулированием во времени.

Молотовые поковки подвергаются горячей или холодной правке. Горячая правка производится в окончательных ручьях молотовых штампов. Крупные и средние поковки подвергают горячей правке в правочных молотовых штампах. Горячая правка производится также на обрезных прессах и дает лучшие результаты, чем правка в окончательных штамповочных ручьях и в правочных молотовых штампах, но лимитируется тоннажем пресса.

Холодная правка в правочных молотовых штампах производительнее горячей правки, но неприменима для некоторых материалов из-за их хрупкости. Большинство машиноделочных сталей допускает холодную правку в пределах малой степени деформации. Во избежание трещин холодную правку поковок следует производить в отожженном или нормализованном состоянии. Еще более производительной является холодная правка на обрезных прессах, применяемая, однако, только для мелких поковок в связи с ограниченным тоннажем обрезных прессов.

Поковки, для которых в связи с пружинением необходим перегиб в сторону, противоположную изогнутости, правят на правильных прессах.

Стойкость молотовых штампов, определяемая количеством снятых поковок до первого возобновления штампов, зависит от конфигурации и размеров отдельных элементов окончательного ручья.

В зависимости от тоннажа молота ориентировочная стойкость штампов характеризуется следующими практическими данными [70].

Усилие молота в *т*	Стойкость (количество поковок в шт.)
0,5 до 1,0 . .	10 000 — 18 000
Св. 1,0 до 1,5	7 500 — 15 000
1,5 „ 3,0	5 500 — 12 000
3,0 „ 4,0	4 000 — 9 000
4,0 „ 6,0	2 500 — 6 000
6,0	1 500 — 4 500

Штамповка на горизонтально-ковочных машинах применяется для получения поковок высадкой из пруткового материала в штампах с разъемными матрицами. Этот метод характеризуется высокой производительностью и экономией металла в связи с ничтожными потерями на заусенцы (не более 1%).

Материалом для штамповки на горизонтально-ковочных машинах служит прокат круглого, реже квадратного сечения, повышенной точности. Повышенная точность проката применяется во избежание защемления заготовки в зажимном ручье штампа с образованием продольного заусенца в плоскости разъема матриц либо, напротив, выталкивания заготовки из штампа под давлением пуансона вследствие слабого зажима.

Штамповка на гидравлических прессах применяется преимущественно для получения пустотелых поковок цилиндрической формы, а также различных фасонных объемных поковок. Штамповка на гидравлических прессах характеризуется высокой производительностью (около 150—300 поковок в час в зависимости от веса и размера). Этот метод позволяет производить поковки посредством глубокой прошивки, путем протяжки прошитых заготовок через кольца или рамки для получения из них пустотелых поковок с одновременным увеличением их длины, посредством высадки сплошных и пустотелых заготовок; позволяет производить штамповку пуансонами в цельных матрицах, т. е. в закрытых штампах и в разъемных матрицах.

Исходной заготовкой для штамповки на гидравлических прессах обычно служит прокат круглого или квадратного сечения.

Штамповка на фрикционных винтовых прессах применяется для болтозаклепочных и подобных им деталей, получаемых высадкой, для фасонных поковок, подобных штампуемым на молотах, а также для поковок с буртами и боковыми элементами, которые нельзя получить в неразъемных штампах под молотом; эти элементы выполняются в разъемных матрицах пуансонами.

Штамповка на фрикционных винтовых прессах характеризуется: 1) высокой производительностью для болтозаклепочных поковок (около 200—1000 шт./час.) и пониженной производительностью сравнительно со штамповкой на молотах для фасонных поковок (около 50—

200 шт./час.); 2) экономией металла в связи с получением поковок без заусенца или с незначительными легко удаляемыми заусенцами; при этом, однако, на фасонных поковках вследствие меньшей скорости деформации сравнительно со штамповкой под молотом образуется сравнительно большой слой окалины, которая не отлетает.

Материалом для штамповки на фрикционных винтовых прессах служит горячекатаный и холоднотянутый прокат, а для цветных металлов — иногда и литые заготовки.

Штамповка на кривошипных прессах применяется почти для всех видов горячих штамповочных работ. Прессы, предназначенные для этих работ, имеют особо жесткие станины и надежное направление ползуна. Исходным материалом для объемной штамповки на кривошипных прессах служит прокат круглого и квадратного сечения или периодического профиля.

Точность штамповки на кривошипном прессе выше, чем при других методах штамповки. Это объясняется: 1) отсутствием ударов при работе, имеющих место при штамповке на молотах и фрикционных прессах и вызывающих расстройство крепления штампов и направления ползуна; 2) лучшим направлением и меньшими зазорами у направляющих с ползуном; 3) фиксированным нижним положением верхнего штампа, снижающим недоштамповку до пределов упругих деформаций пресса и штампа; 4) значительным сокращением штамповочных уклонов в связи с возможностью пользоваться жесткими выталкивателями.

При штамповке на кривошипных прессах напуски или вовсе, или в значительной степени исключаются, а припуски и штамповочные уклоны значительно уменьшаются сравнительно с другими методами штамповки; в связи с этим экономия металла при штамповке на кривошипных прессах достигает 10% и более.

Трудоемкость при этом методе штамповки сокращается примерно вдвое сравнительно со штамповкой на молотах.

Основными видами штамповки на кривошипных прессах являются: штамповка с заусенцем, штамповка выдавливанием без заусенца, штамповка прошивкой.

Штамповка с заусенцем аналогична штамповке на молотах. Этим методом штампуются ступицы, втулки с фланцами, зубчатые колеса, коромысла, рычаги, шатуны, коленчатые валы и другие детали, штампуемые на молотах.

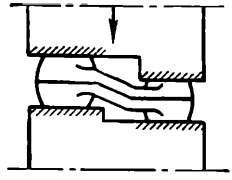
При штамповке выдавливанием без заусенца заготовка, помещенная в закрытой матрице, нажимом пуансона-поршня выдавливается через отверстие в дне матрицы или в нажимной полости пуансона.

Штамповка прошивкой аналогична штамповке выдавливанием без заусенца с той разницей, что металл выходит не через отверстие, а через зазор между пуансоном и матрицей. Этот метод применяется для штамповки деталей типа стаканов, гильз, а также деталей коробчатой и корытообразной формы.

К а л и б р о в к а - ч е к а н к а является отделочной операцией при штамповке; ее производят в холодном или горячем состоянии. Холодная калибровка-чеканка обеспечивает высокую точность размеров и высокое качество поверхности. Горячая калибровка дает меньшую точность и применяется для крупных штампованных поковок.

Калибровку-чеканку производят на кривошипно-коленных чеканочных прессах. Горячую калибровку можно производить на кривошипных горячештамповочных прессах или, с меньшей точностью, на винтовых фрикционных прессах и молотах.

Различают холодную калибровку-чеканку: плоскостную, криволинейных поверхностей тел вращения и объемную.



Фиг. 109. Пример плоскостной калибровки-чеканки.

Плоскостная калибровка-чеканка производится с целью получения точного размера между двумя противолежащими плоскостями поковки и улучшения качества их поверхностей. При такой чеканке размеры в плоскости, перпендикулярной к направлению обжатия, увеличиваются, так как течение металла в этой плоскости ничем не ограничено. В необходимых случаях следует это учитывать и соответственно уменьшать размеры поковки при штамповке. Чеканка, применяемая иногда для уничтожения штамповочных уклонов, является частным случаем плоскостной чеканки. Чеканка плоских поверхностей может производиться одновременно на разную толщину и в разных по высоте плоскостях (фиг. 109).

Потребное усилие для калибровки-чеканки зависит от качества металла, конфигурации и толщины поковки. Ориентировочно можно принять для плоскостной чеканки углеродистой стали 13—16 *т/см*^{2}, легированной стали 16—20 *т/см*^{2} площади горизонтальной проекции поверхности, подвергаемой чеканке.

Допуски на размеры между поверхностями, подвергаемыми калибровке-чеканке по ГОСТу 7505-55, выдерживаются в пределах 0,16—0,63 *мм*. Путем многократной чеканки, т. е. производя чеканку одних и тех же поверхностей два или три раза с промежуточной термообработкой для снятия остаточных напряжений, можно выдержать допуск до 0,1—0,3 *мм*.

При чеканке происходит пирамидальное распределение напряжений, заключающееся в том, что слои металла, находящиеся ближе к центру чеканенной поверхности, испытывают более высокие напряжения, чем периферийные слои. В результате по мере приближения к центру чеканенной поверхности, увеличиваются упругие деформации, вследствие чего размер по толщине получается в центре больше, чем у краев. У больших поверхностей увеличение размера в центре достигает 0,4 *мм*. Во избежание этого поверхность, подлежащую чеканке, делают несколько вогнутой, либо делают выпуклой обжи-

мающую часть чеканочного штампа, либо применяют многократную чеканку.

Калибровка-чеканка криволинейных поверхностей тел вращения производится в калибровочном штампе за несколько ходов пресса с поворотом на некоторую часть окружности после каждого хода. В этом случае течение металла в стороны ограничено; за счет течения металла вдоль оси поковка несколько удлиняется, что должно быть учтено при штамповке. Допуски на диаметральные размеры при чеканке криволинейных поверхностей обычно выдерживаются в пределах 0,2—0,7 *мм*.

Объемная калибровка-чеканка производится в калибровочном штампе с полостями, соответствующими требуемым размерам калиброванной поковки. При объемной чеканке металл течет только в заусенец, что вызывает в металле большие напряжения, увеличивает потребный тоннаж пресса, повышает отдачу и в итоге уменьшает точность чеканки. Во избежание этого целесообразно несколько уменьшать размеры поковок в плоскости разъема. Выдерживаемые при объемной чеканке допуски приблизительно в 1,5 раза больше, чем при плоскостной чеканке.

Тоннаж (сила) пресса для объемной калибровки-чеканки определяется по формуле

$$P = KF\ m,$$

где K — удельное давление в $m/см^2$;

F — площадь проекции поверхности, подвергающейся калибровке, в $см^2$.

Для углеродистой стали принимают $K = 20 \div 30\ m/см^2$; для легированной стали $K = 40\ m/см^2$.

Элементы поковки, к которым предъявляются более высокие требования точности, чем дает объемная калибровка, подвергаются после нее плоскостной калибровке.

Кроме рассмотренных методов, применяются методы ковки: 1) на вертикально-ковочных машинах, 2) на ротационно-ковочных машинах, 3) на горизонтально-гибочных машинах и 4) на ковочных вальцах.

Вертикально-ковочные машины применяются для изготовления мелких изделий — валиков и осей с переменным сечением, бородков, зубил, железнодорожных костылей и т. п. — путем вытяжки фасонными бойками в несколько переходов.

Ротационно-ковочные машины применяются для изготовления металлических изделий из прутков и труб путем обжимки и вытяжки; при этом может быть получена цилиндрическая, коническая, овальная, полукруглая и другая форма.

Горизонтально-гибочные машины применяются для изготовления различных скоб, угольников, стоек, кронштейнов, подвесок и т. п. из полосового, квадратного или круглого проката.

Ковочные вальцы применяются: для получения ленты заготовок, соединенных между собой пленкой металла, от которой они освобождаются путем последующей обрезки на обрезном прессе; для получения заготовки периодического профиля, штампуемой в последующем на молоте или прессе; для вытяжки с приданием заготовке заданной конфигурации в продольном и поперечном сечениях; при этом вытяжка на ковочных вальцах совмещается в ряде случаев с работой на молотах и прессах в качестве заготовительной или завершающей операции.

Очистка поковок производится для предотвращения заштамповки окалины или поверхностных дефектов при последующей калибровке-чеканке, для подготовки поверхностей к обработке резанием в наиболее благоприятных условиях и для удаления с необрабатываемых поверхностей штампованных поковок загрязнения, ржавчины и окалины.

Применяемая для удаления окалины голтовка поковок в барабанах является устаревшим методом, не отвечающим по своей малой производительности современным темпам выпуска машин. Пескоструйная очистка также не является высокопроизводительным методом; пылеобразование при этом методе очистки настолько интенсивно, что не может быть обезврежено даже мощной вентиляцией. Поэтому рекомендуется производить очистку поковок в дробеметных установках с механической подачей дроби быстровращающимся ротором, что обусловливает небольшое количество выделяющейся при очистке пыли, легко удаляемой вентиляционными устройствами. В некоторых случаях и, в частности, для очистки от окалины режущего инструмента применяют гидро-пескоочистку, при которой рабочим веществом является пульпа, представляющая собой смесь песка с водой [61].

Для удаления окалины применяют также травление поковок в растворах кислот.

Ржавчина и другие загрязнения удаляются с поверхностей поковок огневой очисткой и стальными электрощетками.

Местные поверхностные дефекты удаляются вырубкой пневматическими зубилами; зачисткой абразивными кругами; огневой зачисткой (пламенем ацетилено-кислородной горелки путем оплавления дефектного места поковки).

Детали машин, изготовляемые холодной высадкой и листовой штамповкой

Холодная высадка применяется при изготовлении крепежных деталей (болтов, винтов, заклепок и пр.), колпачковых гаек, соединительных пальцев, толкателей клапанов, роликов и шариков, заглушек, мелких ступенчатых валиков и тому подобных деталей. В ряде случаев для изготовления подобных деталей применяется высадка с подогревом.

Холодная высадка (и высадка с подогревом) осуществляется на высокопроизводительных высадочных прессах-автоматах. Размеры деталей, высаживаемых на типовых прессах-автоматах, не превышают 25 *мм* по диаметру стержня и 200 *мм* по длине. Детали большей длины штампуются на специальных прессах-автоматах.

Производительность холодновысадочных автоматов составляет 30—400 и более штук в минуту в зависимости от размеров и конфигурации высаживаемых деталей.

Отклонения размеров при холодной высадке выдерживаются по 3—3а классу точности, а чистота поверхности по 6—7-му классу.

Холодная высадка сочетается в ряде случаев с редуцированием (уменьшением диаметра) стержня под накатку резьбы или с калибровкой гладкой части стержня путем проталкивания его через специальную матрицу.

Материалом для холодной высадки является калиброванный пруток диаметром от десятых долей миллиметра до 25 *мм*. В некоторых случаях применяют материал большего диаметра. Для холодной высадки применяются углеродистые стали (конструкционные — марок 08—45 и рядового проката), легированные стали и цветные металлы и сплавы.

Отходы металла при холодной высадке весьма незначительны. Экономия металла, получаемая этим методом, сравнительно с изготовлением деталей данных видов из проката путем обработки снятием стружки, в ряде случаев достигает примерно 40%.

Холодная листовая штамповка применяется для изготовления таких деталей машин, как кожухи, картеры, крышки, колпаки, щитки, диски, фрикционные и уплотнительные кольца, асбесто-металлические кольца и прокладки различной конфигурации и т. п. Этот метод широко применяется для штампосварных конструкций, иногда весьма сложных, как например, штампо-сварные станины, кузова легковых автомобилей и т. п.

Материалом для холодной листовой штамповки служат тонколистовой металл и лента, а также картон, кожа и другие неметаллические материалы.

Для восстановления пластических свойств деформированного металла применяют отжиг или другой вид термической обработки, в зависимости от марки металла. После термообработки производится травление и промывка.

Холодная листовая штамповка является высокопроизводительным технологическим методом. Погрешности при холодной штамповке получаются главным образом вследствие неточности изготовления штампов и их износа. Для свободных размеров холодноштампованных деталей без особых затруднений может быть выдержан 7-й класс точности. При указании допусков, размеры могут быть выдержаны по 3—3а классам точности.

Матрицы и пуансоны штампов доводятся индивидуальной пригонкой с допусками 10—80 *мк*, в зависимости от толщины штампуе-

мого материала. Стойкость штампов между переточками составляет примерно 7000—130 000 штампо-ударов, в зависимости от вида и марки штампуемого материала, его толщины и характера операции (вырубка, гибка, сборка в штампе и др.).

Высокая точность размеров, достигаемая при холодной листовой штамповке, обеспечивает получение этим методом готовых деталей, не требующих последующей механической обработки или нуждающихся лишь в небольшой доделочной обработке.

Отливки

Точность литых заготовок зависит от применяемых методов литья. Для литья в земляные формы в ГОСТах 1855-55 и 2009-55 установлено три класса (I, II, III) точности отливок из серого чугуна и стальных фасонных отливок.

III класс точности отливок грубее 9-го класса точности по системе ОСТ для размеров до 500 *мм* и находится в пределах 10—11-го класса точности по ГОСТу 2689-54 для размеров свыше 500 *мм*. II класс точности отливок приблизительно соответствует 9-му классу точности по ОСТ для размеров до 500 *мм* и 9—10-му классу точности по ГОСТу 2689-54 для размеров свыше 500 *мм*. I класс точности отливок соответствует 7—9-му классу точности по системе ОСТ и по ГОСТу 2689-54.

Литье в постоянные формы и центробежное литье обеспечивают допуски на размеры отливок по 7—8-му классу точности и 1-й класс чистоты поверхности отливки.

Литьем в оболочковые формы получаем 4—7-й класс точности и 3—4-й класс чистоты поверхности.

Литье по выплавляемой модели дает 4—5-й класс точности и 4—6-й класс чистоты поверхности.

Литье под давлением обеспечивает 3а—4-й класс точности и 4—7-й класс чистоты поверхности.

В дополнение к этим данным укажем области применения различных методов литья.

Литье в земляную форму открытой формовки в почве по модели применяют в единичном и мелкосерийном производстве для простых по конструкции деталей, имеющих плоскую поверхность, которая при заливке располагается вверху (колосники, подкладки и т. п.).

Литье в земляную форму закрытой формовки в почве — по модели, по вращающимся шаблонам с вертикальной осью вращения, по протяжным шаблонам, по скелетной модели — применяется в единичном и мелкосерийном производстве крупных деталей. Формовка по вращающимся и протяжным шаблонам, а также по скелетной модели, применяется в целях удешевления модельной оснастки и сокращения сроков ее изготовления.

Литье в земляную форму ручной формовки в опоках по модели применяется для отливки как мелких, так и крупных деталей различной конфигурации. В зависимости от конфигурации отливки ручная формовка в опоках имеет следующие разновидности: формовка в двух опоках, формовка с подрезкой, формовка с фальшивой опокой, формовка по модели с отъемными частями, формовка в трех опоках, формовка по шаблону с горизонтальной осью вращения.

Формовка в двух опоках выполняется по моделям с плоским разъемом.

Формовка с подрезкой выполняется по неразъемным моделям, когда нельзя получить плоский разъем опок. При этом методе трудоемкость формовки повышается.

Формовка с фальшивой опокой применяется в тех же случаях, как и формовка с подрезкой, при значительной партии отливаемых заготовок в целях повышения производительности труда.

Формовка по модели с отъемными частями применяется в случаях, когда модель не допускает разъема по всему сечению и для удаления ее необходимы отъемные части; это усложняет формовку и понижает точность отливок.

Формовка в трех опоках применяется, когда модель может быть удалена лишь при наличии разъемов по двум поверхностям.

Формовка по шаблону с горизонтальной осью вращения применяется для отливок, представляющих собой тела вращения, со значительным превышением длины над диаметром (валки, трубы и т. п.); этим методом достигается удешевление и сокращение сроков изготовления модельной оснастки.

Литье в земляную форму машинной формовки в опоках: а) по деревянным моделям — применяется при отливке небольших партий заготовок до 100 шт.;

б) по металлическим модельным плитам — применяется в условиях серийного и массового производства.

Машинная формовка может применяться при изготовлении форм в двух опоках и при замене всех боковых отъемных элементов модели стержнями.

По сравнению с ручной формовкой машинная формовка обеспечивает более высокую точность формы и однородность уплотнения. Поэтому отливки при машинной формовке получаются более точными по размерам и в большей степени одинаковыми по весу.

В связи с механизацией процессов уплотнения формы и выемки модели, освобождением формовщика от установки модели на плиту, от прорезки литников и других вспомогательных работ, производительность труда при машинной формовке значительно повышается по сравнению с ручной формовкой.

Литье в стержневую форму применяется для ответственных отливок сложной конфигурации (цилиндры двигателей, головки цилиндров, лопатки турбин и т. п.). Форма собирается из стержней по шаблонам и кондукторам и обеспечивает высокую точность отливки (I—II классы).

Литье в постоянную форму (кокиль) применяется для отливок как цветных, так и черных металлов.

Стойкость форм при литье заготовок из легкоплавких сплавов (цинк, алюминий, магний) достигает сотен тысяч отливок, при литье чугуна 1500—5000 отливок, при литье стали 600—700 мелких отливок, 150—250 средних, 20—25 крупных [70].

Чтобы избежать образования твердой закаленной корки на поверхности соприкосновения отливки с металлической формой, необходимо замедлить скорость остывания поверхностного слоя отливки; для этого внутренняя поверхность формы покрывается слоем облицовки толщиной 10—12 *мм*, на которую дополнительно наносится слой сажи; другим способом является предварительный подогрев формы до температуры 200—400° и покрытие рабочих поверхностей формы огнеупорной краской слоем около 0,1 *мм*.

Литье в постоянные формы дает значительные технико-экономические преимущества по сравнению с отливкой в земляные формы: 1) повышается качество отливаемых заготовок (т. е. достигается более высокая точность отливок и чистота их поверхностей, улучшение структуры металла); 2) исключается процесс формовки, сокращается применение формовочных материалов и связанных с их переработкой и транспортированием агрегатов; 3) сокращаются производственные площади и 4) увеличивается производительность труда.

Заготовки, отливаемые в кокиль, должны допускать свободное удаление их из формы и не должны иметь резких переходов по толщине стенок.

Для отливки в постоянные формы могут быть применены специальные машины. При этом упрощается работа и повышается производительность труда за счет механизации или автоматизации процессов открывания и закрывания формы, выемки стержней и удаления отливок. Машины могут быть одноместными и многоместными с карусельным столом, несущим до 12 форм.

Метод непрерывного литья следует рассматривать как одну из разновидностей литья в металлическую форму. Сущность его заключается в том, что расплавленный металл непрерывно и равномерно поступает в охлаждаемую водой металлическую форму — кристаллизатор с одного конца и в виде затвердевшего слитка вытягивается с другого конца. Этим методом получают слиток в виде трубы или прутка постоянного сечения любой длины с высокими механическими свойствами отливки и высоким качеством поверхности [72]. Таким образом, этот метод может быть применен для литых деталей, аналогичных деталям, изготовляемым из проката специальных профилей.

Литье методом вакуумного всасывания заключается в том, что расплавленный металл засасывается из тигля в металлическую форму путем создания в ней вакуума. Наряду с некоторыми технологическими преимуществами этого способа, он обладает двумя существенными недостатками — низкой производительностью и ограниченной областью применения (отливка втулок и других заготовок несложной формы).

Литье методом выжимания осуществляется следующим образом: расплавленный металл заливается в нижнюю часть металлической формы и при опускании пуансона выжимается, заполняя пространство между нижней частью формы и пуансоном. Применяется этот метод для тонкостенных крупногабаритных деталей типа крышек, тонкостенных плит и т. п. [72].

Центробежный метод литья применяется в тех случаях, когда могут быть использованы центробежные силы для придания жидкому металлу формы изложницы. Центробежный метод применяют чаще всего для тел вращения (втулки, трубы, гильзы) и для фасонных отливок, имеющих ось симметрии (фланцы, шкивы, колеса); ось вращения изложницы в этом случае совпадает с осью симметрии отливок. Центробежным способом могут отливаться и заготовки, не имеющие оси симметрии (тормозные колодки, рычаги, вилки и т. п.); в этих случаях ось вращения центробежной машины лежит вне отливок и центробежная сила используется лишь для заполнения формы металлом, а образование наружных и внутренних контуров отливки осуществляется формой.

Допуски на размеры отливок, полученных центробежным способом, соответствуют 7—8-му классу точности; в связи с этим значительно сокращается последующая механическая обработка. Заготовки, полученные центробежным литьем, характеризуются мелкозернистым строением. Шлаковые включения, скопляющиеся на внутренней поверхности отливки, удаляются при последующей механической обработке.

Для центробежного литья применяют металлические и футерованные изложницы. Изложницы, изготовленные из легированных сталей (хромоникелевой или хромомолибденовой), обладают стойкостью 2000—3000 отливок.

Литье под давлением является высокопроизводительным методом получения точных отливок, последующая механическая обработка которых либо совершенно исключается, либо сводится к отдельным операциям.

Литье под давлением осуществляется на специальных машинах с применением металлических форм, стойкость которых зависит от термических напряжений, возникающих в форме в процессе производства отливок; чем выше температура плавления отливаемого сплава, тем бо́льшие трудности возникают при отливке деталей этим способом. Поэтому литье под давлением применяется главным образом для цинковых, алюминиевых, магниевых и латунных сплавов

Производительность полуавтоматов для мелкого литья под давлением (весом не более 300 *г*) достигает 300 циклов в час, автоматы для мелкого литья дают 500 и более циклов в час. Наиболее быстроходные из современных машин этого типа достигают 1000 циклов в час; располагая по 6—8 деталей в форме, можно достигнуть производительности 6000—8000 отливок в час.

Для средних отливок (весом 0,3—3 *кг*) применяются обычно полуавтоматы, дающие 80—250 циклов в час. Машины для крупных отливок (весом 3—15 *кг*) дают 40—100 циклов в час.

Литьем под давлением возможно отливать армированные элементы машин путем установки в форму обработанных деталей из других сплавов (бронзы, чугуна, стали).

К заготовкам (деталям), отливаемым под давлением, предъявляются технологические требования, аналогичные требованиям к заготовкам, отливаемым в кокиль.

Средняя стойкость форм для литья под давлением зависит от вида заливаемого сплава и определяется ориентировочно следующими данными: для цинковых сплавов 150 000 отливок; для алюминиевых и магниевых сплавов 40 000; для медных сплавов 5000.

Литье по выплавляемой модели применяется для получения весьма точных форм и размеров отливок, не требующих механической обработки или ограничивающих ее лишь отделочными операциями. Этим методом можно получить отливки из различных металлов, а также из твердых сплавов, не поддающихся последующей механической обработке.

Технология изготовления литейной формы при этом методе литья не требует формовочных уклонов у модели и разъема формы.

Литье в оболочковые формы основано на свойстве термореактивной смоло-песчаной смеси принимать форму подогретой металлической модели с образованием сравнительно тонкой и быстрозатвердевающей оболочки.

Литье этим методом обеспечивает высокую точность отливок, отклонения размеров которых находятся в пределах 4—5-го класса точности для элементов заготовки, полученных в одной полуформе, и 7-го класса точности для элементов, полученных в обеих полуформах. Чистота поверхности отливок соответствует 4-му классу по ГОСТу 2789-51. В связи с высокой точностью отливок значительно уменьшаются припуски на обработку; вместе с тем сокращается расход металла на литники. Значительно уменьшается также трудоемкость очистки литья и последующей механической обработки отливок. Этот метод применим для литья как черных, так и цветных металлов.

Литье в оболочковые формы открывает широкие возможности автоматизации производства путем применения многопозиционных автоматов карусельного типа для изготовления форм, кольцевых вращающихся печей для подогрева моделей, автоматизации сушки форм и других процессов изготовления форм и их заливки.

Обрубка и очистка отливок производится с целью удаления литников, прибылей, заусенцев, пригара, окалины и т. п.

Литники и прибыли у чугунных отливок отбиваются. Литники и прибыли у стального и цветного литья удаляются на ленточных или дисковых пилах, эксцентриковых прессах-зубилах и газовой резкой. Заусенцы, пригар и другие неровности удаляются с поверхностей отливок пневматическими зубилами и абразивными кругами. Для удаления литников и облоя у отливок, изготовленных литьем под давлением, применяют обсечные штампы.

Очистка поверхностей отливок производится на дробеметных установках с механической подачей дроби. Голтовка в барабанах и пескоструйная очистка не рекомендуются по изложенным выше соображениям.

Механическая обработка заготовок

Получение заданных форм, размеров и качества поверхностей деталей машин достигается обычно соответствующей обработкой заготовок.

Доминирующее значение в современном машиностроении все еще имеет обработка резанием (снятием стружки). Применяется и окончательная обработка без снятия стружки — пластическим деформированием, а также способом дробеструйного наклепа.

Обработка снятием стружки является наиболее широко применяемым в настоящее время способом обработки заготовок для деталей машин. Наряду с механической обработкой на металлорежущих станках, используется также и слесарная обработка. Удельное значение слесарной обработки в массовом и серийном производстве ничтожно, но в единичном и мелкосерийном производстве, а также при ремонтных работах слесарная обработка достаточно широко применяется для пригонки сопрягаемых деталей машин [1].

Обработка снятием стружки на металлорежущих станках производится лезвийными (резцы, фрезы, сверла, зенкеры, развертки, протяжки и др.) и абразивными (круги, бруски) режущими инструментами.

При обработке резцами различают обдирочную обработку (обдирку), черновую, получистовую и чистовую обработку. В ряде случаев, в зависимости от точности выполнения черной заготовки, ограничиваются однократной обработкой лезвийными инструментами. Для получения точных размеров и высокой чистоты поверхности применяют тонкую обработку.

Обдирка применяется главным образом для заготовок, полученной свободной ковкой, а иногда и для крупных отливок III класса точности. Обдирка производится с целью уменьшения пространст-

[1] О слесарно-пригоночных работах и их механизации см. в § 2 этой главы «Характеристика технологических методов сборки».

венных отклонений и погрешностей формы черной заготовки. При обдирке могут быть выдержаны размеры: для поковок по 10—11-му и для отливок — по 9—10-му классам точности по ГОСТу 2689-54.

После обдирки допускается местная чернота заготовки. Обдирку крупных (тяжелых) заготовок целесообразно производить на заводах и в цехах, поставляющих заготовки. В этом случае поверхностные дефекты заготовки выявляются на месте ее производства, уменьшается вес заготовки перед ее транспортированием и удлиняется срок вылеживания ободранной заготовки (естественного старения).

Черновую обработку применяют для заготовок, подвергавшихся обдирке, для крупных штампованных поковок третьей и второй групп точности и для крупных отливок III и II классов точности; в первом случае черновая обработка обеспечивает 9—7-й класс точности, а во втором и третьем случаях 7—5-й класс точности по системе ОСТ.

Достигаемая при черновой обработке чистота поверхности находится в пределах 1—3-го класса по ГОСТу 2789-51.

Получистовая обработка применяется, когда при черновой обработке не может быть удален весь припуск, либо когда предъявляются повышенные требования к точности геометрических форм обрабатываемой заготовки и пространственным отклонениям ее элементов.

При получистовой обработке размеры заготовки выдерживаются с допусками по 5 и 4-му классам точности; чистота поверхности обеспечивается в пределах 2—4-го класса по ГОСТу 2789-51.

Чистовая обработка применяется либо как окончательная, либо как промежуточная под последующую отделку (тонкая обработка, шлифование). Чистовая обработка в зависимости от процесса предшествующей обработки обеспечивает 4-й и 3а классы точности и 4—6-й класс чистоты.

Однократная обработка применяется для заготовок, полученных методами, обеспечивающими высокую точность их выполнения (штамповка по первой группе точности, литье в кокиль, литье по выплавляемой модели и т. п.). Она выполняется по черной поверхности, но с режимами, близкими к чистовой обработке.

В зависимости от точности выполнения заготовки, однократная обработка обеспечивает 4—7 классы точности и 3—5 классы чистоты.

Если требующаяся точность не позволяет ограничиться однократной обработкой, то ее используют, как предварительную операцию под тонкую обработку или шлифование.

Тонкая обработка резцами применяется как метод окончательной отделки, заменяющий шлифование, и осуществляется при высоких скоростях резания, малых глубинах резания (0,05—0,5 *мм*) и малых подачах (0,05—0,15 *мм/об*).

Тонкое точение обеспечивает 2а—3 классы точности 7—8 классы чистоты.

Высокая точность и чистота поверхности при тонкой обработке достигаются благодаря специфическим условиям ее выполнения. Станки для тонкой обработки отличаются весьма высокими геомет-

рической точностью и жесткостью, а режущие инструменты — высокой износоустойчивостью.

Настройка инструмента и станка на размер выполняется при помощи микрометрических и индикаторных устройств с большой точностью.

Возникающие в процессе обработки с малыми глубиной резания и подачей силы резания незначительны и постоянны по величине, что в условиях жесткой системы станок — заготовка — инструмент сводит к минимуму величину колебания отжатий для партии заготовок.

Таким образом достигается уменьшение каждого из составляющих допуска на обработку.

Особо следует отметить тонкую обработку *широкими резцами*, к которой относится тонкое обтачивание широким резцом и тонкое строгание широким резцом. Глубину резания при тонкой обработке широкими резцами принимают не более 0,5 *мм*, а подачу назначают в зависимости от ширины резца; обычно подача на оборот или двойной ход составляет не более 0,8 ширины резца.

Тонкая обработка широкими резцами обеспечивает 3—2а классы точности и 6—8-й класс чистоты, а при индивидуальном получении заданных размеров 2-й и даже 1-й класс точности и 7—9-й класс чистоты.

Обработка резцами токаря-новатора В. А. Колесова дает высокую производительность труда, обеспечивая чистоту поверхности 4—5-го класса при глубине резания до 4 *мм*, подаче до 3 *мм/об* и скорости резания 60—150 *м/мин* и до 7-го класса чистоты при глубине резания 1 *мм*, подаче до 5 *мм/об* и скорости резания 90—200 *м/мин*.

При обработке фрезами различают черновое, получистовое и чистовое фрезерование, а при обработке торцовыми фрезами также и тонкое фрезерование; в некоторых случаях ограничиваются однократным фрезерованием.

Черновое фрезерование применяют как метод предварительной обработки отливок и поковок, припуск на предварительную обработку которых превышает 3 *мм*. Черновое фрезерование плоскостей обеспечивает 2—4-й класс чистоты и отклонение от прямолинейности 0,15—0,3 *мм* на 1 *м* длины.

Получистовое фрезерование применяют в тех случаях, когда погрешности черной заготовки обусловливают большую глубину резания. Стружку в этом случае делят между черновым и получистовым фрезерованием. Применяют получистовое фрезерование также с целью уменьшения погрешностей геометрических форм и пространственных отклонений, так как каждый проход инструмента значительно снижает эти погрешности. Получистовое фрезерование обеспечивает 3—5-й класс чистоты и отклонение от плоскости 0,1—0,2 *мм* на 1 *м* длины.

Чистовое фрезерование применяют либо как метод окончательной обработки после чернового и получистового фрезерования, либо как

метод промежуточной обработки после чернового фрезерования перед последующей отделочной обработкой.

Чистовое фрезерование обеспечивает 4—6-й класс чистоты и отклонение от плоскостности 0,04—0,08 *мм* на 1 *м* длины.

Тонкое фрезерование применяют как метод окончательной обработки плоских поверхностей торцовыми фрезами. Припуск под тонкое фрезерование оставляют в пределах 0,2—1 *мм*. Тонкое фрезерование обеспечивает 6—8-й класс чистоты поверхности и отклонение от плоскостности 0,02—0,04 *мм* на 1 *м* длины.

Однократное фрезерование применяют в тех случаях, когда погрешности черной заготовки обусловливают незначительный припуск на обработку (менее 2 *мм*). Однократное фрезерование обеспечивает 4—5-й класс чистоты и отклонение от плоскостности 0,06—0,1 *мм* на 1 *м* длины.

Применяя скоростные режимы при фрезеровании, получают: при черновом 3—5-й, при получистовом 4—6-й и при чистовом фрезеровании 5—7-й классы чистоты поверхности.

Сверление применяется для получения отверстий в сплошном металле. Сверление обеспечивает 5—4-й класс точности и 5—3-й класс чистоты поверхности. Этот метод обработки отверстий находит широкое применение в качестве предварительной обработки точных отверстий.

Обработка грубых отверстий ограничивается весьма часто одним только сверлением.

Зенкерование применяют либо после сверления, либо для обработки отлитых или прошитых отверстий в черных заготовках. В первом случае зенкер, снимая значительную часть припуска, выправляет погрешности, имеющиеся у просверленного отверстия, а именно увод оси отверстия и смещение осей координированных отверстий. Это достигается при направлении зенкера кондукторной втулкой. Во втором случае зенкер сообщает отверстию правильную форму и выправляет ось отверстия. При зенкеровании литых и прошитых отверстий в черных заготовках получают 5-й класс точности и 3-й класс чистоты. При зенкеровании после сверления получают 4-й класс точности и 4-й класс чистоты поверхности. Однократное скоростное с охлаждением зенкерование литых отверстий в отливках из серого чугуна обеспечивает 4-й класс точности и 4—5-й класс чистоты поверхности [55].

Развертывание отверстий применяется обычно как метод окончательной обработки либо как метод, предшествующий притирочному шлифованию (хонингованию). Развертывание не исправляет увода и смещения оси отверстия и применяется для получения точного диаметрального размера.

В зависимости от предъявляемых к отверстию требований применяют нормальное, точное и тонкое развертывание. Эти виды развертывания различаются главным образом по допускам на диаметральные размеры разверток.

Нормальное развертывание обеспечивает 3а—3-й класс точности и 6-й класс чистоты поверхности (развертки выполняются по 2а классу точности); точное развертывание дает 2а класс точности и 7-й класс чистоты (развертки выполняются по 2-му классу точности); тонкое развертывание — 2—1-й класс точности и 8-й класс чистоты (допуски на развертки принимают равными 0,6 от допусков 1-го класса точности).

Для окончательной обработки точных отверстий 2 и 1 классов точности диаметром 25—600 *мм* применяется развертывание плавающими пластинами. Пластина вставляется в паз оправки и имеет возможность перемещаться в радиальном направлении.

Плавающие пластины не выправляют и не изменяют положения оси отверстия, которое должно быть точно определено предшествующей обработкой, ими достигают лишь повышения точности диаметрального размера и качества поверхности отверстия.

Протягивание применяют для обработки отверстий и пазов любого сечения, плоских и криволинейных поверхностей и наружных поверхностей вращения.

При протягивании имеется возможность упростить обработку, так как во многих случаях одна протяжка заменяет несколько инструментов (например, зенкер или расточный резец и развертку; черновую и чистовую фрезы и т. п.). Протягиванием обрабатывают предварительно обработанные либо черные поверхности.

Протягивание как метод обработки отверстий находит широкое применение благодаря высокой производительности.

Когда торец заготовки обработан, она этим торцом прижимается усилием резания к лобовой поверхности протяжного станка. Если торец заготовки не обработан, то она опирается на сферическую самоустанавливающуюся опору.

Протягивание плоских поверхностей осуществляют на вертикально-протяжных или горизонтально-протяжных станках с установкой обрабатываемой детали в приспособлении.

Обработка наружных поверхностей вращения производится на специальных протяжных станках с вращением заготовки, а криволинейных поверхностей — на протяжных станках с вращающимся столом. Применяется обработка протягиванием зубьев венцов зубчатых колес.

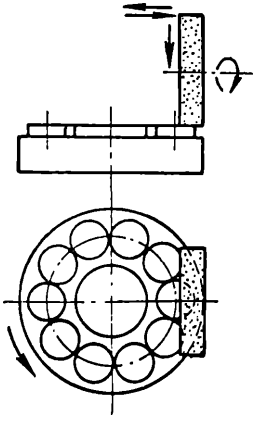
Протягивание является перспективным методом обработки, который может осуществляться на станках различных типов, включая непрерывно действующие автоматизированные станки. Протягиванием обеспечивается 3а—2а класс точности и 5—7-й класс чистоты.

Прошивание[1] отверстий применяют как метод окончательной обработки отверстий любой формы небольшой длины, обеспечивающий 2-й и выше класс точности и 7—8-й класс чистоты.

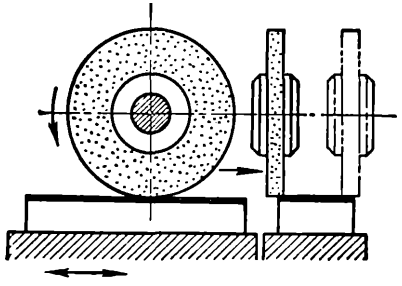
---

[1] Режущей прошивкой называют короткую протяжку, проталкиваемую через отверстие и работающую на сжатие.

Шлифование применяют как метод окончательной обработки. Обдирочное шлифование как метод однократной окончательной обработки применяют при шлифовании плоских базовых поверхностей для обеспечения необходимой плоскостности, обычно без выдерживания размера. Обдирочное шлифование производят на шлифовально-обдирочных станках с вертикальным шпинделем, наборным из сег-

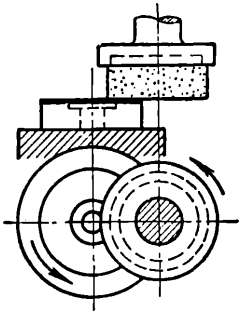


Фиг. 110. Шлифование плоскости периферией шлифовального круга на станке с вращающимся столом.

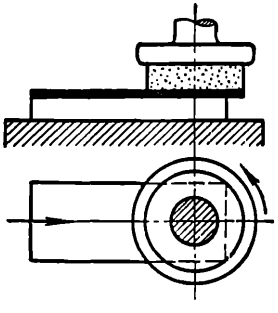


Фиг. 111. Шлифование плоскости периферией шлифовального круга на станке с прямолинейно-возвратным движением стола.

ментов кругом. Обычно применяют круги зернистостью 16—24, реже 24—36. Обдирочным шлифованием получают 5—6-й класс чистоты поверхности.

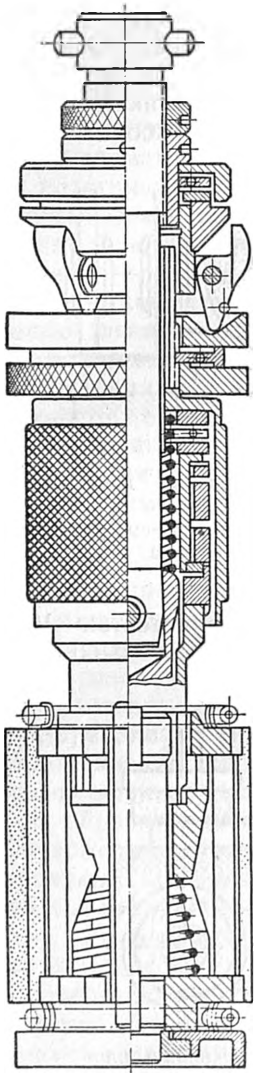


Фиг. 112. Шлифование плоскости торцом чашечного шлифовального круга на станке с вращающимся столом.



Фиг. 113. Шлифование плоскости торцом чашечного шлифовального круга на станке с прямолинейно-возвратным движением стола.

Предварительное шлифование плоских поверхностей после обработки лезвийным инструментом производится периферией (фиг. 110 и 111) или торцом чашечного круга (фиг. 112 и 113). В первом случае



Фиг 114. Головка для притирочного шлифования.

применяют круги зернистостью 36—46, во втором 24—36 (для стали и чугуна). Для чистового шлифования применяют круги зернистостью 46—90 и для тонкого шлифования 120—180.

Для случая плоского шлифования периферией круга получают: при предварительном 5—6-й, при чистовом 7—8-й и при тонком 8—9-й классы чистоты поверхности. Скоростное плоское шлифование периферией круга повышает чистоту поверхности на один класс. Для случая плоского шлифования торцом чашечного круга получают при предварительном 5—7-й и при чистовом 7—8-й классы чистоты поверхности.

При обработке внешних поверхностей вращения применяют предварительное, чистовое и тонкое шлифование. Предварительное шлифование обеспечивает 3а—3-й класс точности и 5—7-й класс чистоты, чистовое 2а—2-й класс точности и 7—8-й класс чистоты, тонкое шлифование 2 и 1-й классы точности и 8—10-й класс чистоты поверхности.

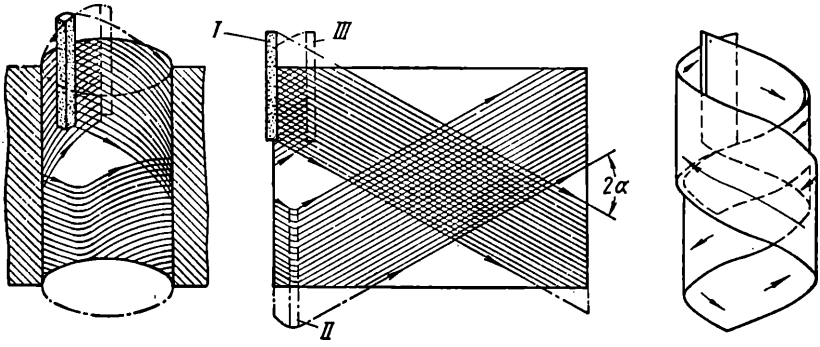
Однократное шлифование внешних поверхностей вращения применяют для деталей, не подвергающихся термической обработке после точения для достижения 3-го и 2а классов точности и 6—8-го класса чистоты поверхности.

При обработке отверстий применяют предварительное и чистовое либо однократное шлифовзние. Предварительное шлифование дает 3а—3-й класс точности и 5—7-й класс чистоты. Чистовое и однократное шлифование обеспечивают 3—2а класс точности и 7—8-й класс чистоты.

Тонкое шлифование при обработке отверстий не применяют, и если требуется более высокая точность и чистота, то вместо шлифования кругами применяют другие методы обработки отверстий лезвийными или абразивными инструментами; в частности, приме-

няют тонкое растачивание, развертывание или притирочное шлифование.

Притирочное шлифование (хонингование) осуществляется специальной головкой с укрепленными в ней абразивными брусками (фиг. 114). Головка совершает одновременно вращательное и возвратно-поступательное движения; в результате этого на обрабатываемой поверхности создается косая мелкая сетка рисок от абразивных зерен (фиг. 115). Такая поверхность при высокой чистоте ее хорошо удерживает смазку.



Фиг. 115. Поверхность, обработанная притирочным шлифованием:

I — положение бруска в начале первого поступательного хода; *II* — положение бруска в конце первого поступательного хода; *III* — положение бруска в конце первого возвратного хода; 2α — внутренний угол скрещивания.

Притирочным шлифованием удаляют слой в пределах 0,01—0,2 *мм* в зависимости от диаметра отверстия, обрабатываемого материала и предшествующей обработки. В этих пределах притирочным шлифованием устраняется конусность, эллиптичность и тому подобные погрешности.

Во избежание уменьшения диаметров у концов отверстия, бруски должны выходить на некоторую длину из отверстия (т. е. должен быть осуществлен перебег брусков); следовательно, этот метод обработки удобно применять для сквозных отверстий. Обработка коротких отверстий, диаметр которых меньше длины, представляет некоторые трудности.

Притирочное шлифование выполняют в одну или две, а иногда и в три операции, характеризуемые различной зернистостью брусков: для однократного шлифования применяют зернистость 270—400, для предварительного 140—270, для чистового 300—500, для зеркального 600.

Головки имеют от двух до восьми брусков. Размеры брусков: ширина 4,5—15 *мм*, высота 6—14 *мм*, длина 150 *мм*.

Притирочное шлифование ведут при следующем режиме обработки: окружная скорость брусков 45—90 *м/мин*; скорость прямо-

линейно-возвратного движения 10—20 *м/мин*; удельное давление брусков 4—5 *кг/см*^{2} для предварительного и 3—4 *кг/см*^{2} для чистового. Охлаждающе-смазывающей жидкостью служит керосин или смесь керосина с 10—20% машинного масла.

Толщина снимаемого слоя металла за один двойной ход лежит в пределах 0,7—5 *мк*.

Притирочное шлифование обеспечивает точность обработки в пределах 5—20 *мк* и 8—12-го класса чистоты поверхности. Его применяют как типовой метод обработки точных отверстий с высокой чистотой поверхности.

Для обработки шеек валов притирочное шлифование практически почти не применяется, так как для наружных поверхностей тонкое шлифование проще в осуществлении и обеспечивает достаточную точность и чистоту поверхности. Для получения более высокой чистоты поверхности шеек валов прибегают к отделочному шлифованию или полированию их абразивной лентой.

Отделочное шлифование осуществляется также специальными головками с абразивными брусками и может быть применено для обработки наружных и внутренних поверхностей вращения и плоскостей.

Головка для отделочного шлифования имеет от двух до четырех брусков зернистостью 320—600. Удельное давление на обрабатываемую поверхность составляет 1,5—2,5 *кг/см*^{2}. В процессе работы бруски перемещаются по образующей и совершают от 200 до 1500 колебательных движений в минуту с амплитудой 3—6 *мм*, а заготовка вращается со скоростью ~10 *м/мин*. Продолжительность операции 0,5—1,5 мин.

Отделочным шлифованием повышают лишь чистоту поверхности до 9—12-го класса, не исправляя других погрешностей предшествующей обработки. Одной из особенностей процесса являются малые скорости резания и малые удельные давления, которые исключают возможность нагревания обрабатываемых поверхностей в процессе обработки и появления в их поверхностном слое каких-либо изменений. Значительному повышению чистоты поверхностей способствует множественность движений, при которой практически исключается повторение абразивными зернами своих траекторий. Процесс протекает с охлаждающе-смазывающей жидкостью, состоящей из керосина и 10—15% веретенного масла, благодаря чему бруски касаются лишь выступающих микронеровностей в местах разрыва масляного слоя; процесс прекращается автоматически, в связи с тем что при достижении определенной чистоты поверхности прекращается разрыв масляной пленки.

Притиркой достигается высокая (значительно выше 1-го класса) точность обработки (до 0,1 *мк*) и 10—12-й, а при надобности и более высокие классы чистоты поверхности. Инструментом является притир, изготовляемый обычно из более мягкого материала, чем обрабатываемая заготовка. Для притиров применяют главным образом мягкий мелкозернистый чугун, а также цветные металлы, пластмассы

и дерево. Притирка выполняется с помощью абразивных порошков и паст. Поверхность притира насыщают (шаржируют) мелкозернистыми абразивами в виде зерен (шлифпорошков), микропорошков и паст. При насыщении (шаржировании) притиров зернами не рекомендуют применять номер зернистости меньше, чем 220, а при шаржировании микропорошками крупнее М7 (размер зерна не больше 7 *мк*). Пасты ГОИ (Государственного оптического института) делятся на три вида: грубые, средние и тонкие; они отличаются величиной зерна окиси хрома, входящей в пасту в качестве абразива, и химическим составом остальных составляющих. Обычно производят предварительную и окончательную притирку.

Предварительной притиркой снимают припуск, необходимый для исправления погрешностей геометрической формы детали; окончательной притиркой повышают чистоту поверхности. Предварительную и окончательную притирки производят разными притирами, так как удаление старого абразива с притира затруднительно.

Полирование применяется для повышения чистоты поверхности и осуществляется быстродвижущейся абразивной лентой, насыщенной обычно мягкими абразивами, или мягким полировальным кругом (из войлока, фетра, бязи и т. п.), с нанесенной на него полировальной пастой. Полированием получают 10—12-й класс чистоты поверхности, а при тонком полировании — и более высокие классы чистоты.

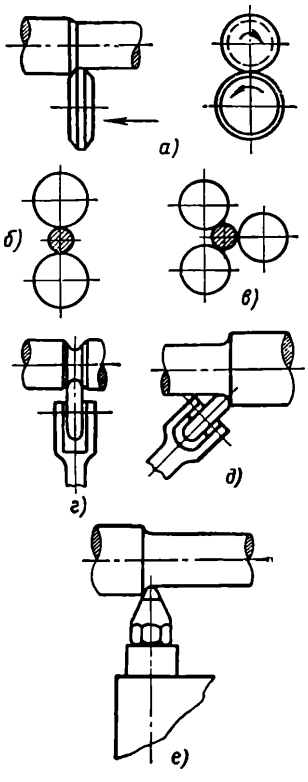
Обработка поверхностей с применением притирочных и полировальных паст основана на одновременном механическом воздействии инструмента (притира или полировального мягкого круга) и химическом воздействии поверхностно-активных веществ, содержащихся в пастах.

Работами акад. И. В. Гребенщикова установлено, что в процессе обработки кислоты, содержащиеся в пастах, выделяющаяся теплота и другие факторы способствуют образованию на обрабатываемой поверхности пленок окислов. Эти пленки удаляются под действием абразива притиром или полировальным кругом; вместо них образуются новые пленки окислов, которые также удаляются и процесс повторяется; при этом металл во впадинах остается покрытым пленками, в то время как с выступающих неровностей пленки удаляются по мере их образования; в связи с этим полированием достигается сглаживание микронеровностей. В отличие от притирки, при обработке полированием не удается гарантировать повышение точности обработки. Это объясняется тем, что кинематика полирования не позволяет соблюсти постоянство режимных условий обработки и контролировать протекание процесса.

Химико-механическая обработка в растворе сернокислой меди практически применяется для затачивания и доводки резцов; этот метод обеспечивает 8—11-й класс чистоты поверхности.

В результате обменной химической реакции, протекающей на поверхности твердого сплава, погруженного в смесь раствора серно-

кислой меди с абразивным порошком, выделяется медь, а металлическая (кобальтовая) связка твердого сплава переходит в раствор в виде соли, освобождая зерна карбидов, которые вместе с рыхлой медью удаляются посредством абразивного порошка, прижимаемого металлическим диском к обрабатываемой поверхности; затем процесс повторяется до получения заданного качества поверхности.



Фиг. 116. Обкатывание наружных поверхностей вращения:

а — одним роликом; *б* — двумя роликами, *в* — тремя роликами; *г*—обкатывание канавки; *д*—обкатывание галтели; *е* — обкатывание шариком.

Обработка абразивной струей применяется для повышения чистоты поверхности без изменения формы и размеров обрабатываемой детали. В этом случае тонкий абразивный порошок во взвешенном состоянии подается с жидкостью под давлением воздуха 6 *ат* через сопло, изготовленное из твердого сплава; при этом абразивные зерна направляются на обрабатываемую поверхность с большой скоростью и сглаживают ее микронеровности. Содержание абразива в смеси составляет 30—50% по весу. Широкого применения в промышленности этот метод еще не получил в связи с некоторыми трудностями его осуществления.

Обработка без снятия стружки пластическим деформированием находит все большее применение в машиностроении как высокопроизводительный способ окончательной обработки поверхностей вращения, а в некоторых случаях и плоских поверхностей. К этому способу относится обкатывание поверхностей роликами и шариками и калибрование отверстий шариками или оправками [1].

Обкатывание наружных поверхностей вращения осуществляется одним или несколькими стальными закаленными или твердосплавными роликами, соприкасающимися с обрабатываемой поверхностью под определенным давлением. При обработке поверхностей небольшого размера вместо роликов рабочим инструментом могут служить шарики (фиг. 116). Многороликовые схемы обкатывания наиболее удобны для заготовок нежесткой конструкции. Обкатывание обычно является одним из переходов операций, выполняемых на токарных,

[1] Накатывание резьбовых, шлицевых, зубчатых и рифленых поверхностей здесь не рассматривается.

револьверных или карусельных станках. Применяются также специальные станки (например, для обкатывания шеек осей колесных пар применяют специальные токарно-накатные станки).

Обкатывание поверхности сопровождается уменьшением ее размера на величину остаточной деформации; при этом значительно повышается чистота поверхности и твердость поверхностного наклепанного слоя, а при определенных режимах возрастает и предел выносливости материала. Для повышения прочностных характеристик деталей целесообразно обкатывать радиусным роликом или шариком галтели и переходные канавки.

Наиболее эффективное действие при обкатывании оказывают первые два прохода; последующие проходы не вызывают существенного повышения чистоты поверхности и других характеристик.

Результаты обкатывания зависят от выбранного давления на ролик. Излишне большое давление при обкатывании вызывает неблагоприятные изменения в поверхностном слое, влекущие в дальнейшем к отслаиванию металла. При ширине цилиндрического пояска на ролике 3 *мм* и диаметре ролика меньше 100 *мм* давление на ролик должно составлять в зависимости от обрабатываемого материала 50—200 *кг* [65].

Обкатывание поверхностей после чистовой обработки их лезвийным инструментом повышает чистоту поверхности на один-два класса, а точность на 10—15% и обеспечивает 3-й или 2-й класс точности и 7—9-й класс чистоты поверхности.

Принцип обкатывания может быть применен и для отделки внутренних поверхностей вращения (так же как и для поверхностей других видов). Раскатывание отверстий выполняется, кроме токарных, револьверных и карусельных станков, также на вертикально- и радиально-сверлильных станках и на горизонтально-расточных станках. С наибольшим технико-экономическим эффектом раскатывание применяется при обработке отверстий большого диаметра в тяжелых корпусных деталях, абразивная обработка которых затруднительна.

Калибрование отверстий [65] производится шариком или оправкой (фиг. 117), которые проталкиваются с определенным натягом через отверстие. При отношении длины l заготовки к ее диаметру d, превышающем 8 $\left(\frac{l}{d} > 8\right)$, протягивают калибрующую оправку через отверстие или обрабатываемую заготовку по неподвижной оправке.

При калибровании возникают упругая σ_y и остаточная σ_0 деформации.

При этом:

$$\sigma_0 = d_и - d_з; \quad \sigma_y = d_к - d_и \text{ и натяг } i = d_к - d_з,$$

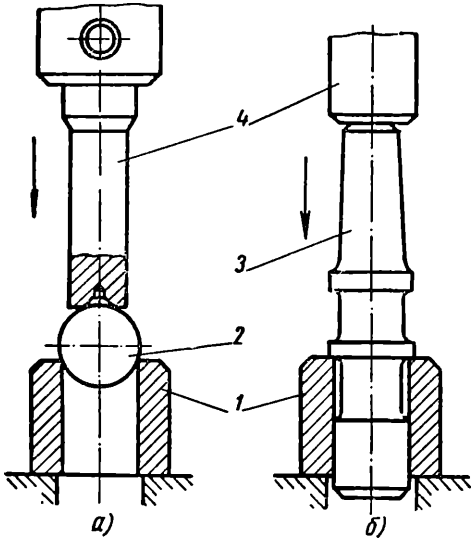
где $d_к$ — диаметр калибрующего инструмента;

$d_з$ — диаметр отверстия до калибрования (диаметр заготовки);

$d_и$ — диаметр отверстия после калибрования (фиг. 118).

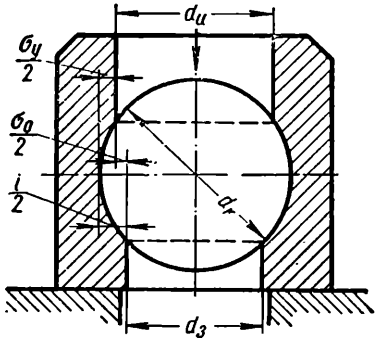
Предварительно расточенное или развернутое по 3 или 2-му классу точности отверстие путем калибрования доводится до 2 или 1-го класса точности и 7—10-го класса чистоты.

Процесс осуществляется со смазкой керосином при обработке чугуна и минеральным маслом при обработке стали и бронзы. Калибрование целесообразно применять для отделочной обработки отверстий в заготовках, которые по размерам и конфигурации неудобны для установки на станках для абразивной обработки.



Фиг. 117. Калибрование отверстий:

а — шариком; *б* — оправкой; *1* — обрабатываемая заготовка; *2* — шарик; *3* — оправка; *4* — пуансон.



Фиг. 118. К определению упругих и остаточных деформаций при калибровании.

Дробеструйный наклеп является перспективным методом упрочнения деталей машин. При дробеструйном наклепе возникает пластическая деформация поверхностных слоев металла в результате ударного воздействия дроби.

Процесс заключается в том, что на прошедшую механическую и термическую обработку заготовки, помещенную в камеру специальной установки, направляется с большой скоростью обычно чугунная, реже стальная дробь диаметром 0,4—2 *мм*.

При наклепе цветных сплавов применяют алюминиевую или стеклянную дробь.

Под ударным воздействием дроби в поверхностном слое заготовки возникает наклеп на глубине 0,2—1 *мм*, повышается твердость и прочность поверхностного слоя; в нем создается благоприятное распределение остаточных напряжений по сечению детали и изменяется форма и ориентация кристаллических зерен в направлении

более эффективного их сопротивления пластической деформации и разрушению; резко снижается чувствительность стали к поверхностным дефектам. Дробеструйный наклеп устраняет неблагоприятное влияние на усталость обезуглероженного поверхностного слоя стальных заготовок.

Наклеп дробью весьма эффективно понижает концентрацию напряжений в местах концентраторов напряжений — технологических (следы механической обработки), эксплуатационных (задиры, коррозия), а при достаточной глубине наклепанного слоя и конструктивных (канавки, резкие переходы в сечениях).

Дробеструйный наклеп видоизменяет микрогеометрию поверхности, понижая ее чистоту сравнительно с шлифованной поверхностью; последующее шлифование в пределах шероховатости наклепанной дробью поверхности практически не снижает эффективность дробеструйного наклепа; однако более глубокое шлифование может значительно понизить упрочнение, достигнутое в результате дробеструйного наклепа.

Для дробеструйного наклепа обычно применяются механические и пневматические дробеметы.

В механических дробеметах разброс дроби осуществляется плоскими радиально расположенными лопатками быстро вращающегося ротора (2000—3500 об/мин). Диаметр ротора 200—500 *мм*, ширина 45—125 *мм*.

Механические дробеметы дают равномерное покрытие дробью обрабатываемой детали, более производительны и экономичны сравнительно с пневматическими дробеметами.

Пневматические дробеметы имеют одну или несколько форсунок (сопел), через которые дробь выбрасывается сжатым воздухом, (5—6 *ат*) и применяются преимущественно в тех случаях, когда необходимо произвести наклеп труднодоступных поверхностей (глубокие отверстия, впадины и т. п.).

Рабочая камера дробемета оснащается тем или иным механизмом, осуществляющим необходимое движение упрочняемой заготовки под потоком дроби (транспортер, вращающийся стол и т. п.).

Поток дроби достигает в современных дробеметных установках 150 *кг/мин*.

Дробеструйный наклеп применяют для повышения усталостной прочности кованой и литой стали, а также высокопрочного чугуна. Серый чугун при дробеструйном наклепе не упрочняется. Наклеп дробью сварных соединений, работающих при циклическом нагружении, значительно повышает их прочность. Дробеструйный наклеп увеличивает предел выносливости в среднем на 50%.

Весьма благоприятные результаты дает сочетание различных методов поверхностного упрочнения (закалка токами высокой частоты, цементация, поверхностные покрытия и т. п.) с дробеструйным наклепом [73].

Электрическая обработка заготовок

По характеристике технологических процессов различают электрохимические и электроискровые методы обработки поверхностей.

Электрохимические методы обработки основаны на явлениях, связанных с прохождением электрического тока через растворы электролитов. К ним относятся электрополирование и анодно-механическая обработка [1].

Электрополирование металлов основано на неоднородном анодном растворении отдельных участков шероховатой поверхности при электролизе. В ванну с электролитом погружают два электрода: полируемый предмет (анод) и металлическую пластину (катод); через электролит пропускают постоянный ток низкого напряжения.

Составы электролитов и режимные условия полирования зависят от полируемого металла. Основными компонентами электролитов являются ортофосфорная кислота, серная кислота, глицерин, хромовый ангидрид. Режимы полирования изменяются в широких пределах: плотность тока от 0,02 до 120 *а/см*^{2}, продолжительность полирования — от 0,2 до 60 мин. Равномерность полирования зависит от рассеивающей способности электролита. Электрополируемость металлов различна; лучшие результаты получаются при полировании однородных по составу и строению металлов и сплавов.

Интенсивность съема металла при оптимальном режиме составляет 0,1—10 *мк/мин*.

Электрополирование применяют для поверхностей не грубее 4-го класса чистоты по ГОСТу 2789-51. Полируемая поверхность должна быть предварительно тщательно очищена от загрязнений.

Электрополированием обычно достигают чистоты поверхности на два-три класса выше исходной чистоты.

Анодно-механическая обработка основана на том, что на поверхности металла, погруженного в электролит в качестве анода, образуется при пропускании постоянного тока нерастворимая пленка толщиной от сотых долей до нескольких сот микрон. Оказывая то или иное механическое воздействие на образующуюся пленку, разрушают металл в желаемом направлении, т. е. производят его обработку.

Помимо резки металлов, рассмотренной раньше [2], этот метод можно применять для затачивания и доводки инструмента, а также для процессов, аналогичных шлифованию металлов, и некоторых других процессов обработки. Этим методом можно достигнуть 4—2-го класса точности обработки, которая определяется в основном точностью инструмента и станка.

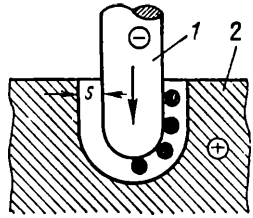
Анодно-механическая обработка дает 2—7-й класс чистоты поверхности; при анодно-механическом шлифовании можно получить 6—10-й класс, а при доводке 9—12-й класс чистоты.

---

[1] Гальваностегия и электрооксидирование относятся к покрытиям металлов и здесь не рассматриваются.

[2] См. Анодно-механическая резка проката, стр. 167.

Электроискровая обработка металлов основана на разрушении их действием импульсного электрического разряда, возникающего при прохождении электрического тока через диэлектрик. Нарушение электрической прочности диэлектрика проходящим через него током называют пробоем, а разрушение поверхности электродов, между которыми возникает разряд, называют электроэрозией. В отличие от дугового электрического разряда, сопровождающегося интенсивными термическими воздействиями на металл электрода (дуговая сварка), при искровом разряде термические воздействия ограничены микроучастками поверхности и площадь поражения анода (обрабатываемой заготовки) находится в пределах 0,05—1 *мм*^{2} при глубине поражения 0,005—0,3 *мм*. При этих условиях исключается общее прогревание обрабатываемой заготовки.



Фиг. 119. Схема образования зазора при электроискровой обработке:
1 — электрод-инструмент;
2 — обрабатываемая заготовка

При электроискровой обработке обрабатываемая заготовка подключается обычно к положительному полюсу, а инструмент-электрод, направляющий разряд на подлежащее обработке место, — к отрицательному полюсу генератора импульсов. Электроды должны быть разделены межэлектродным промежутком, необходимым для возникновения разряда. Величина межэлектродного промежутка находится в пределах 5—100 *мк*, в зависимости от мощности импульсов.

Процесс осуществляется в жидкой среде (керосин, маловязкое минеральное масло, вода), создающей условия для удаления (смывания) разрушаемого металла с обрабатываемой поверхности.

В зависимости от выполняемой обработки электрод-инструмент совершает либо только поступательное, либо вращательное и поступательное, либо вибрационно-поступательное движение.

Точность электроискровой обработки определяется образующимся при обработке зазором, который колеблется в широких пределах (30 ÷ 800 *мк* на сторону) и зависит от точности инструмента и станка, от режима обработки, независимо от размеров обрабатываемой поверхности. Полная величина зазора на сторону s слагается из межэлектродного промежутка и размера вырываемых частиц, которые, проходя по зазору, вызывают дополнительные разряды, увеличивающие зазор (фиг. 119). Величина межэлектродного промежутка зависит от напряжения, а размер отрывающихся частиц — от мощности разряда. Отверстия получаются конусными с уширением кверху.

Чистота поверхности определяется мощностью разряда. Единичный разряд вырывает из обрабатываемой поверхности частицу металла, оставляя на ней углубление в виде лунки, близкой к сферической. При этом чем интенсивнее разряд, тем больше лунка и, следовательно, тем ниже чистота поверхности. В зависимости от режима

электроискровой обработки получается 1—8-й класс чистоты по ГОСТу 2789-51 [67].

Поверхностный слой после электроискровой обработки получает твердость ($R_C = 69 \div 72$) на глубину 10—100 *мк*. Этот слой обладает высокой износо- и коррозиеустойчивостью.

Применение электроискрового способа целесообразно там, где затруднительна или невозможна обработка резанием. Основным преимуществом электроискрового метода перед обработкой резанием является возможность образования при помощи латунного проволочного электрода сквозных и глухих отверстий малых диаметров (0,15—0,3 *мм*), отверстий с любой формой поперечного сечения, отверстий с криволинейной осью; применяя в качестве электрода пластину или диск, можно получить тонкие прорези и щели. При этом все виды обработки могут производиться в материалах любой твердости, в том числе и твердых сплавах. Для ускорения обработки большого числа отверстий при изготовлении сит и сеток проволочные электроды закрепляются на нужных расстояниях в пластинах, образуя таким образом групповой электрод. Обработкой отверстий сложного профиля в волочильных фильерах удается удешевить их производство и расширить область применения холодного волочения. Электроискровой метод применяется при изготовлении и ремонте штампов, приспособлений и оборудования (например, для извлечения сломанного инструмента), а также при затачивании и доводке инструмента.

Электроискровым способом выполняется также роспись на металлах при помощи ручного приспособления, представляющего собой легкую электромагнитную систему с вибрирующим электродом, подключаемую в качестве катода к конденсаторной схеме; анодом является изделие, на котором делается роспись. Возможно и упрочнение поверхности металла, являющееся результатом физико-химических процессов, происходящих в поверхностном слое металла под воздействием кратковременных и многократных электрических импульсов в форме искровых разрядов, возникающих в воздушном промежутке между электродом-анодом (инструментом) и электродом-катодом (упрочняемой заготовкой).

Обработка ультразвуковыми колебаниями получила применение при прорезке отверстий различной формы с прямыми и криволинейными осями, нарезании в них резьбы, при обработке рабочих полостей штампов, обрезке заготовок, по профилю, при гравировании и дает хорошие результаты при обработке весьма твердых и хрупких материалов (закаленная сталь, твердые сплавы, алмазы и другие драгоценные камни, стекла, керамика и т. п.).

При обработке непроводников этот метод обработки в настоящее время не имеет равных. В области отделочных операций он превосходит конкурирующий с ним электроискровой метод обработки. Однако механическая обработка ультразвуковыми колебаниями и электро-

искровая обработка находятся еще в стадии разработки, и поэтому нельзя дать им окончательную сравнительную оценку.

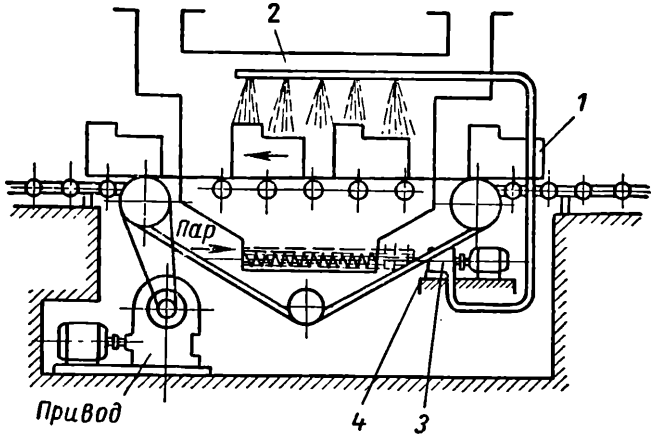
Точность обработки ультразвуковыми колебаниями находится в пределах 12—3 *мк*, а чистота поверхности $H_{ср}$ достигает 0,8—0,2 *мк* в зависимости от зернистости применяемого абразива.

Производительность процесса обработки зависит от обрабатываемого материала, зернистости абразива, рода жидкости, в которой он размешан, и частоты колебаний. При сохранении неизменными остальных параметров процесса обработки и принимая скорость съема при обработке стекла за единицу (100 *мм*^{3}/*мин*), имеем скорость съема для керамики 0,13, сталей различных марок и твердых сплавов 0,02—0,05, латуни 0,06.

При комбинировании ультразвуковой обработки с анодным растворением скорость обработки увеличивается в 2—3 раза.

Очистка деталей машин и заготовок в процессе обработки

Готовые детали машин должны быть тщательно очищены перед окончательным техническим контролем от следов охлаждающей



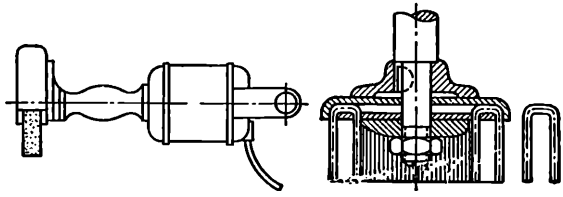
Фиг. 120. Однокамерная моечная машина.

жидкости, стружки и других посторонних частиц. Только в этом случае можно рассчитывать на качественный контроль.

Обычно детали, поступающие на контроль, подвергаются мойке, которая производится либо в моечных баках, либо в моечных машинах. На фиг. 120 дана схема однокамерной моечной машины. Детали (узлы) *1* подаются по рольгангу на конвейер, которым перемещаются по моечной камере *2*; моечный раствор подается насосом *3* при давлении 3 *ат*; интенсивно обмывая детали со всех сторон, раствор стекает

в отстойник и, пройдя через фильтр *4*, снова поступает в насос. Температура моечного раствора 60—80°; поэтому детали, выйдя из машины, достаточно быстро просушиваются. Применяются двухкамерные моечные машины; в первой камере производится мойка, во второй камере — ополаскивание деталей для удаления остатков щелочей. Иногда моечные машины снабжаются сушильными камерами (трехкамерные машины). Для мойки применяют водные растворы эмульсола или жидкого мыла с добавлением кальцинированной соды и жидкого стекла, а также другие аналогичные растворы.

Крупные детали (корпуса, станины и т. п.) подвергаются очистке круглыми (диаметром примерно 150 *мм*) приводными стальными



Фиг. 121. Круглые приводные стальные щетки.

щетками (фиг. 121) с последующей обдувкой струей сжатого воздуха через наконечники воздушных шлангов.

При наличии промежуточного контроля, заготовки, поступающие на контроль, также подвергаются очистке.

Широко применяется в промышленности ультразвуковая очистка деталей. Этим методом легко очищать не только наружные, но и труднодоступные внутренние поверхности (каналы, бороздки и т. п.). Этот метод превосходит своей производительностью и высокой чистотой другие известные методы промывки и очистки деталей.

Обдувка сжатым воздухом широко применяется при установке заготовок для обработки на станках в целях удаления стружки с базовых поверхностей приспособлений и заготовок; несоблюдение этого условия неизбежно поведет к нарушению правильности установки.

Термическая и химико-термическая обработка

Термическую обработку применяют с целью изменения, путем специальной тепловой обработки, физико-механических и физико-химических свойств, определяющих технологические и эксплуатационные характеристики металлов. Улучшение свойств металла при термической обработке является следствием структурных и фазовых изменений, а также изменения напряженного состояния металла.

Различают термическую обработку стали, чугуна, цветных металлов и сплавов.

Термическая обработка стали. *Полный отжиг* — нагрев стали до температуры, превышающей на 30—50° интервал превращений; выдержка при этой температуре и медленное охлаждение до 400—500°. Полный отжиг применяется преимущественно для проката, поковок и стальных отливок с целью понижения твердости, улучшения обрабатываемости резанием, уменьшения структурной неоднородности и подготовки структуры к последующей термической обработке.

Изотермический отжиг — нагрев стали до температуры в интервале превращений или выше ее; выдержка при этой температуре и ускоренное охлаждение до температуры ниже интервала превращений; выдержка при этой температуре и окончательное охлаждение, обычно на воздухе. Изотермический отжиг применяется для сокращения продолжительности процесса полного отжига легированной стали; например, для улучшения обрабатываемости резанием и получения надлежащей чистоты поверхности при обработке стали 40ХНМА применяется изотермический отжиг при 760° с быстрым охлаждением до 635°, выдержкой при этой температуре в течение 4—6 час. и дальнейшим охлаждением на воздухе.

Неполный отжиг — нагрев стали до температуры, лежащей в интервале превращений; выдержка при этой температуре и медленное охлаждение до температуры ниже интервала превращений. Неполный отжиг применяется с целью улучшения обрабатываемости резанием и снятия внутренних напряжений.

Низкотемпературный отжиг — нагрев стали до температуры ниже интервала превращений; выдержка при этой температуре и последующее охлаждение обычно на воздухе. Низкотемпературный отжиг применяется главным образом для снятия внутренних напряжений после черновой обработки поковок из легированной стали.

Диффузионный отжиг — нагрев стали до температуры выше интервала превращений на 150—300°; продолжительная выдержка при этой температуре и последующее медленное охлаждение. Диффузионный отжиг применяется преимущественно для крупных стальных отливок из легированной стали с целью выравнивания путем диффузии химической неоднородности (ликвации). В связи с тем, что диффузионный отжиг вызывает увеличение размера зерна, необходимо после него применять дополнительно полный отжиг или нормализацию с целью измельчения структуры.

Рекристаллизационный отжиг — нагрев стали до температуры выше температуры рекристаллизации (приблизительно 0,4 температуры плавления) на 150—250°; выдержка при этой температуре с последующим охлаждением. Применяется как промежуточная термообработка для холоднокатаных и холодноштампованных заготовок с целью снятия внутренних напряжений и наклепа, восстановления пластичности и вязкости, укрупнения зерен, раздробленных при деформировании в холодном состоянии стали (для получения равноосных зерен), уменьшения твердости и улучшения обрабатываемости при последующей обработке деформированием в холодном состоянии.

Нормализация — нагрев стали до температуры, превышающей на 30—50° интервал превращений; выдержка при этой температуре с последующим охлаждением на спокойном воздухе. Таким образом, нормализация отличается от полного отжига лишь процессом охлаждения после выдержки при температуре отжига. Применяется для выравнивания структурной неоднородности стальных отливок и поковок, получения мелкозернистой структуры, улучшения обрабатываемости резанием сталей с малым и средним содержанием углерода. Вместе с тем в результате нормализации повышается твердость и механические свойства стали

Закалка — нагрев стали до температуры в интервале или выше интервала превращений; выдержка при этой температуре и последующее быстрое охлаждение в воде, в водных растворах солей, в масле, в расплавленных солях, иногда в воздушной струе (обдувкой). Закалка применяется с целью повышения твердости, износо- и коррозиоустойчивости

Поверхностная закалка — нагрев с большой скоростью поверхностного слоя детали до температуры выше интервала превращений и последующее быстрое ее охлаждение. Применяется для получения высокой твердости, прочности и износоустойчивости поверхностного слоя и повышения усталостной прочности детали. Нагрев осуществляется применением электроэнергии, газово-кислородного пламени или путем предварительного подогрева деталей в печах или ваннах до температуры

ниже интервала превращений с последующим быстрым нагревом в свинцовой ванне, имеющей температуру, значительно превышающую интервал превращений. При этом деталь нагревается до требуемой температуры на определенную глубину от поверхности (0,5—1,2 *мм*) и подвергается закалке.

При использовании электроэнергии применяют индукционный нагрев токами высокой, повышенной и промышленной частоты, контактный нагрев и нагрев в электролите.

Для охлаждения детали при поверхностной закалке с нагревом электроэнергией или газово-кислородным пламенем обычно пользуются водой или водо-воздушной смесью омывающими закаляемую деталь из душевых сеток. Масло не применяется вследствие его коксования в отверстиях душевой сетки (спрейера).

Поверхностная закалка успешно применяется для шеек коленчатых и распределительных валов, кулачков, поршневых пальцев, валиков и шпинделей, паровозных параллелей, венцов зубчатых колес и тому подобных деталей, изготовляемых главным образом из сталей марок 40, 45, 50, 40Х, 40ХН, 45Х, 40Г, 50Г, 45Г2.

Поверхностная закалка деталей очень сложной конфигурации путем нагрева токами высокой частоты весьма затруднительна и в ряде случаев невозможна. В этих случаях целесообразнее применять методы химико-термической обработки, которые выбираются в зависимости от предъявляемых к детали требований.

Поверхностная закалка токами высокой частоты является высокопроизводительным методом термической обработки; например, этим методом можно обработать свыше 60 коленчатых валов в час.

Отпуск — нагрев предварительно закаленной стали до температуры ниже интервала превращений; выдержка при этой температуре и последующее охлаждение. Отпуск применяется с целью повышения вязкости, уменьшения хрупкости и внутренних напряжений. По температуре нагрева различают высокотемпературный, среднетемпературный и низкотемпературный отпуск.

Высокотемпературный отпуск (нагрев до 500—670°) применяется с целью наибольшего повышения пластических и вязких свойств с сохранением достаточно высокой твердости.

Среднетемпературный отпуск (нагрев до 250—450°) применяют с целью уменьшения внутренних напряжений и получения повышенных пластических и вязких свойств при более высоких значениях твердости, предела прочности и предела текучести, чем при высокотемпературном отпуске.

Низкотемпературный отпуск (нагрев до 150—250°) применяют с целью уменьшения внутренних напряжений и сохранения высоких значений твердости, предела прочности и предела текучести при пониженном значении вязкости.

Улучшение — двойная термическая обработка стали, состоящая из нормализации и последующего высокотемпературного отпуска. Улучшением называют также закалку с последующим высокотемпературным отпуском. Улучшение применяют с целью измельчения структуры, повышения вязкости, а также для подготовки структуры к последующей окончательной термообработке, если это требуется.

Старение — нагрев закаленных деталей до 150—180° и продолжительная выдержка при этой температуре в течение 5—25 час. Старение применяют для ускорения превращений в закаленной стали со стабилизацией размеров и формы точных деталей машин и мерительных инструментов.

Обработка холодом — погружение закаленных или закаленных и отпущенных деталей в среду с температурой обычно от —70 до —100°, выдержка при этой температуре и естественный нагрев до температуры воздуха. Применяется для повышения твердости и износоустойчивости, а также для стабилизации размеров и форм деталей.

Химико-термическая обработка — процессы, протекающие с диффузионным насыщением поверхностных слоев стальных деталей различными элементами; при этом химический состав поверхностного слоя изменяется. С этой целью применяют цементацию (науглероживание), азотирование, цианирование, алитирование, хромирование, силицирование.

Цементация (насыщение поверхностного слоя стали углеродом) — нагрев обычно до 890—930° в науглероживающей среде; выдержка при этой температуре

в течение 1—25 час. в зависимости от требуемой глубины науглероженного слоя и науглероживающей среды и последующее охлаждение — медленное, если закалка не производится непосредственно после цементации и быстрое при непосредственной закалке.

Цементацию производят для получения, после закалки и низкотемпературного отпуска науглероженных деталей, повышенных значений твердости и износоустойчивости поверхностного слоя, а также усталостной прочности детали.

В зависимости от науглероживающей среды различают цементацию: твердым карбюризатором, жидкостную и газовую.

Твердые карбюризаторы (ГОСТ 2407-51) состоят из углеродосодержащего вещества (древесный уголь,нефтяной кокс, торфяной кокс), активизаторов (солей) и связующего вещества (патока, крахмал).

Жидкостная цементация производится в ванне, состоящей из смеси расплавленных солей. Газовая цементация производится в газовой среде, содержащей науглероживающие газы (метан, окись углерода).

Цементации подвергаются детали, изготовляемые из стали с содержанием углерода до 0,35%.

Азотирование (насыщение поверхностного слоя стали азотом) — нагрев в среде аммиака до 480—650° выдержка при этой температуре в зависимости от требуемой глубины азотированного слоя и медленное охлаждение.

Азотирование получило наибольшее применение для деталей машин, изготовленных из легированных сталей и работающих в условиях трения и знакопеременных нагрузок.

Азотированием достигают повышения усталостной прочности детали в целом, коррозионной устойчивости, повышения твердости и износоустойчивости поверхностного слоя.

Цианирование (насыщение поверхностного слоя стали одновременно углеродом и азотом) — нагрев в науглероживающей и азотирующей среде; выдержка в зависимости от требуемой глубины цианированного слоя; закалка и отпуск. Цианирование применяют для повышения твердости и износоустойчивости поверхностного слоя, а также для повышения усталостной прочности детали.

В зависимости от назначения производят низкотемпературное (нагрев до 500—560° для инструментов из быстрорежущей стали) и высокотемпературное (нагрев до 750—850° для деталей машин из конструкционной стали) цианирование в твердом, жидком или газообразном цианизаторах.

Алитирование — насыщение поверхностного слоя стали алюминием с целью повышения жаростойких свойств стальных деталей (выхлопных коллекторов двигателей и тому подобных деталей).

Алитирование в твердой среде (порошке) производится путем нагрева до 900—1050° и выдержки в зависимости от требуемой глубины алитированного слоя. Газовое алитирование производят в реторте, в которой куски ферроалюминия нагревают до 600°, а алитируемые детали машин — до 900—1050°; при этом от ферроалюминия к деталям пропускают хлор. Для получения алитированного слоя глубиной 0,15—0,2 *мм* этот процесс должен продолжаться приблизительно 2 часа.

Хромирование — насыщение поверхностного слоя стали хромом с целью повышения поверхностной твердости, износоустойчивости, жаростойкости и антикоррозионных свойств стальных деталей. Применяют хромирование в твердой среде (в порошке) — нагрев до 900—1050° с выдержкой в течение 8—15 час. Жидкостное и газовое хромирование стали не получили применения.

Силицирование — насыщение поверхностного слоя стали кремнием с целью повышения сопротивления стали окислению при высоких температурах (практически до 900°). Силицирование в твердой среде производится в реторте с размолотым ферросилицием или карбидом кремния; температура нагрева 1000—1100°. При газовом силицировании детали помещаются в муфели или реторты, в которые загружают карбид кремния или ферросилиций в количестве 0,1 от веса деталей. После нагрева до 950—1050° через печь пропускают хлор; время выдержки при этом зависит от требуемой глубины силицированного слоя; после выдержки детали охлаждают вместе с печью до 200° под током хлора.

Деформация стали при термической обработке обусловлена остаточными внутренними напряжениями, величина и знак которых определяют степень и характер деформации. В результате неравномерности нагрева и охлаждения при термообработке возникают термические напряжения, а неравномерность структурных превращений во времени и по сечению данной детали вызывает структурные напряжения.

Изучение деформаций, возникающих при различных методах терчической обработки, позволит учесть их на предшествующей механимеской обработке так, чтобы обеспечить наименьший съем стружки после термообработки.

Возникновение внутренних напряжений и связанных с ними деформаций при термической обработке стальных деталей зависит от следующих факторов: конструктивных форм детали, прокаливаемости стали, величины зерна стали, температуры и равномерности нагрева, температуры отпуска, равномерности и скорости охлаждения и ряда других.

Например, при цианировании и закалке зубчатых колес из стали 40Х диаметр начальной окружности (⌀90,25 *мм*) увеличивался в зависимости от температуры от 56 *мк* (при 760°) до 102 *мк* (при 845°), т. е. от 0,062 до 0,113%. Длина цилиндрических образцов при закалке в воде изменялась от 0,2 до 0,48% в зависимости от марки стали и температуры закалки. Весьма существенно влияет на деформацию закалочная среда; например, длина цилиндрических образцов размером 10 × 100 *мм* увеличивалась для стали 38ХА при закалке в масле от 0,05% (при 800°) до 0,13% (при 950°), а при закалке в воде от 0,22% (при 800°) до 0,48% (при 950°); зубчатые колеса, изготовленные из стали марки 40 с диаметром отверстия 54,67 — 54,63 *мм* дают после закалки при 820° в воде увеличение диаметра отверстия на 0,2—0,4 *мм*, т. е. в среднем на 0,55%, а при закалке в масле — на 0,05—0,08 *мм*, т. е. в среднем на 0,12%. Одновенцовые зубчатые колеса из стали 40Х диаметром 50—190 *мм* давали после закалки в масле при 815° увеличение диаметра около 0,1% от его исходной величины.

При отпуске закаленных деталей уменьшаются остаточные напряжения, что приводит к некоторому уменьшению степени деформации; при этом чем выше температура отпуска, тем в большей степени уменьшается деформация, возникшая при закалке.

При термической обработке цементованных деталей, кроме уже указанных факторов, на величину деформации оказывают существенное влияние: содержание углерода в цементованном слое и его распределение по глубине слоя; отношение глубины цементованного слоя к сечению детали; соотношение размеров науглероженных и не науглероженных поверхностей детали и ряд других факторов. На цементацию приходится значительная часть суммарной деформации цементованных деталей, получающейся в результате их термической обработки; например, при цементации втулок из стали 20Х наблюдалось уменьшение диаметра (100 *мм*), доходившее до 350 *мк*.

При цементации зубчатых колес наблюдалось, в зависимости от различных факторов, уменьшение или увеличение толщины зуба с нарушением профиля эвольвенты.

В целях обеспечения выпуска годной продукции и уменьшения слоя металла, снимаемого при шлифовании после термической обработки, следует задавать размеры деталей, поступающих на термообработку, с учетом деформаций, происходящих в процессе термической обработки; при этом величину и направление деформации следует устанавливать экспериментально.

Размеры и форма простых по конфигурации деталей (валы, втулки, плиты) доводятся после термической обработки правкой (если она допускается) и шлифованием. В целях уменьшения трудоемкости этих операций применяют нагрев при закалке и отпуске в специальных приспособлениях, и закалку в штампах для плоских деталей или в закалочных машинах для цилиндрических деталей, в которых они закаливаются зажатыми между роликами при вращательном движении.

Значительно сложнее борьба с деформациями в процессе термообработки деталей сложной конфигурации, в особенности изготовленных из цементуемых сталей. Однако и в этих случаях путем специальных мероприятий могут быть достигнуты определенные результаты. Детали сложной конфигурации в целях уменьшения деформаций при термообработке предпочтительно изготовлять из легированной стали и закаливать в масле.

Термическая обработка серого чугуна. *Искусственное старение* производится для снятия остаточных литейных напряжений путем отжига с медленным (скорость 50—150°/час) нагревом отливок до 500—550°, выдержкой при этой температуре в течение 2,5—10 час. и медленным охлаждением до 250—300° со скоростью 30—50°/час.

Естественное старение является весьма длительной операцией (требуется выдержка в заделе отливок в течение 6—18 месяцев), которая приводит лишь к частичному (порядка 30—35%) снятию напряжений.

Отжиг применяется для снятия напряжений и уменьшения твердости отливок путем нагрева до 400—600° со скоростью 60—170°/час, выдержки при этой температуре в течение 0,5—10 час. и остывания в течение 5—24 час. Отжиг массивных отливок производится при 850—950° Прогрессивными методами отжига являются: 1) изотермическая обработка в хлорбариевых соляных ваннах при температуре 1100°—1150°; процесс длится в этом случае 1—5 мин.; 2) нагрев токами высокой частоты; в этом случае длительность процесса распада цементита определяется 3—5 сек.

Нормализация — нагрев до 870—920°, выдержка 1—3 часа и охлаждение на воздухе — применяется для повышения твердости отливки.

Закалка — нагрев и выдержка как при нормализации, но с охлаждением в воде или масле, — применяется с той же целью, что и нормализация. После закалки обязателен отпуск.

Изотермическая закалка — нагрев до 850—950°, выдержка 20—30 мин., закалка в соляной ванне при температуре 250—400° — применяется для повышения прочности, износоустойчивости и твердости при сохранении хорошей обрабатываемости.

Термическая обработка цветных металлов производится в целях: 1) снятия внутренних напряжений путем отжига при невысоких температурах; 2) устранения химической и структурной неоднородности путем длительного отжига при высоких температурах; 3) повышения механических свойств сплавов путем закалки и старения; 4) улучшения свойств деталей, работающих при высоких температурах, путем закалки и стабилизирующего отпуска.

Режимы термообработки выбираются в зависимости от марки сплава; термообработка отливок из медных сплавов практически не применяется вследствие незначительных изменений в механических свойствах сплавов, получаемых в результате термообработки.

Очистка деталей после термической обработки производится травлением в растворах кислот с последующей промывкой и нейтрализацией, электрохимическим травлением, обдувкой на пескоструйных или дробеструйных установках для удаления окалины, мойкой в моечных баках, кабинах или машинах для очистки от следов масел, солей и других загрязнений.

Нанесение покрытий на детали машин

Покрытия поверхностей деталей машин преследуют разнообразные цели и осуществляются различными методами. В машиностроении применяют гальванические покрытия, металлизацию распылением и лакокрасочные покрытия.

Гальванические покрытия деталей машин применяют, как защитные, защитно-декоративные и износоустойчивые, в следующих целях:

цинковое покрытие — для защиты от коррозии стальных изделий, соприкасающихся с бензином или пресной водой при температуре до 70°, и деталей машин, работающих в переменных климатических условиях или в атмосфере, загрязненной продуктами сгорания, сернистым и другими газами;

кадмиевое покрытие — для защиты от коррозии изделий и деталей машин, соприкасающихся с морской водой и для электрических контактов;

оловянное покрытие (лужение) — с целью улучшения приработки, например для алюминиевых поршней;

свинцовое покрытие — для защиты от коррозии, вызываемой воздействием серной кислоты и сернистых газов;

медное покрытие — для защиты от коррозии химической аппаратуры и контактов; для изготовления биметалла; для улучшения приработки трущихся поверхностей; перед оксидированием поверхностей и в качестве подслоя перед хромовым, никелевым и другими защитно-декоративными покрытиями;

никелевое покрытие — в качестве защитно-декоративной отделки (с медным подслоем), для повышения поверхностной твердости

и износоустойчивости трущихся деталей машин, для защиты от коррозии химической и электрохимической аппаратуры, соприкасающейся с щелочными растворами;

хромовое покрытие с подслоем меди и никеля — в качестве защитно-декоративной отделки и для повышения отражательной способности; хромовые покрытия без подслоя применяют в целях повышения твердости и износоустойчивости, для восстановления размеров деталей (размерное хромирование забракованных деталей и при ремонте), а также для защиты от коррозии трущихся поверхностей; пористые хромовые покрытия применяют для улучшения приработки и повышения износоустойчивости поршневых колец и цилиндров;

латунное покрытие — в качестве подслоя для покрытия стальных деталей резиной с последующей вулканизацией, а также в качестве защитно-декоративной отделки с последующим оксидированием;

серебряное покрытие — для повышения отражательной способности прожекторов и рефлекторов фар, повышения электропроводящих свойств поверхностей контактов и для защиты от коррозии поверхностей химической аппаратуры, соприкасающихся с щелочными растворами;

радиевое покрытие — для повышения отражательной способности изделий;

фосфатирование — для защиты от коррозии деталей из стали и чугуна, а иногда в качестве грунта под лакокрасочное покрытие;

оксидирование — для защитно-декоративной отделки поверхностей стальных деталей, а также при окраске алюминиевых деталей;

ферросульфидирование — для улучшения смазки, устранения задиров, улучшения приработки и притирки деталей машин (поршневые кольца, клапаны, толкатели и т. п.).

Гальванические покрытия применяются также в ходе технологических процессов как временные защитные покрытия. Так, поверхности стальных деталей, не подлежащие азотированию, покрывают перед этой операцией оловом; для защиты отдельных поверхностей детали от науглероживания в процессе цементации их подвергают омеднению.

При некоторых видах обработки, связанных с большими контактными давлениями (например, при выдавливании пазов в отверстиях) свинцовое покрытие используется в качестве слоя смазки для предотвращения образования задиров.

Толщина покрытий назначается в зависимости от условий работы покрываемых поверхностей. Практически толщина покрытий колеблется в широких пределах — от 5 до 100 *мк* и более (при защите от коррозии поверхностей, соприкасающихся с концентрированными растворами серной кислоты, толщина покрытия достигает 1000 *мк*).

Толщина покрытий для местной защиты от цементации (медное покрытие) составляет 30—40 *мк* и от азотизации (оловянное покрытие) 3—10 *мк*.

Суммарная толщина многослойных покрытий колеблется в пределах 15—80 *мк* и достигает 120 *мк* при защите от коррозии, вызываемой щелочными растворами.

Поверхности, предназначенные для гальванических покрытий должны быть предварительно тщательно обработаны и не должны иметь забоин, раковин, закатанной или закованной окалины, посторонних включений и заусенцев. Обычно поверхности, предназначаемые для гальванических покрытий, шлифуют, а иногда и полируют. Тщательная обработка поверхностей, подвергаемых покрытию, необходима потому, что в результате гальванического покрытия все дефекты поверхности (заусеницы, царапины, риски, раковины, шероховатости, бугры) становятся более рельефными, так как на выступах и буграх плотность тока будет выше, чем на соседних углубленных участках, и поэтому на выступах будет осаждаться больше металла, чем в углублениях.

Прочность сцепления наносимого покрытия с основным металлом детали, являющаяся одним из основных требований, предъявляемых к гальваническим покрытиям, может быть обеспечена лишь путем тщательного удаления перед электролизом с покрываемой поверхности окислов и малейших следов загрязнения, в особенности жира.

Металлизация распылением заключается в распылении расплавленного металла струей сжатого воздуха и в нанесении распыленного металла с большой скоростью (100—150 *м/сек*) на покрываемую поверхность. Распыленные частицы металла сцепляются между собой и с обрабатываемой поверхностью механически, образуя слой пористого металлического покрытия. Сваривания или сплавления между распыленными частицами металла с обрабатываемой поверхностью не происходит. Процесс металлизации сопровождается изменениями структуры, физических свойств и химического состава металла, наносимого на покрываемую поверхность, вследствие выгорания отдельных элементов и окисления его от соприкосновения с воздухом.

Нанесенный на поверхность детали распылением пористый слой непластичен, хрупок, но хорошо сопротивляется сжатию (100—150 *кг/мм*^{2}).

Металлизация распылением применяется как защитно-декоративное, антифрикционное и жаростойкое покрытие, а также для восстановления изношенных деталей с последующей обработкой их на металлорежущих станках и для исправления дефектного литья.

Металлизация распылением осуществляется посредством специальных аппаратов, в которых расплавление металла производится либо ацетилено-кислородным пламенем (при газовой металлизации), либо вольтовой дугой (при электрометаллизации). Обычно для распыления применяется металлическая проволока диаметром 2 *мм*; реже применяются аппараты, работающие на металлических и других термоплавких порошках.

Подготовка поверхности к металлизации распылением заключается: в очистке от жировых и других загрязнений путем промывки в растворителях; в удалении с поверхности окисной пленки и в создании на ней шероховатости путем пескодувной обработки или грубого обтачивания для обеспечения лучшего сцепления. Металлизация распылением применяется для покрытия не только металлов, но также и неметаллических материалов.

Лакокрасочные покрытия применяют как декоративное покрытие, а также для защиты металлических поверхностей от коррозии и деревянных поверхностей от влаги и загнивания. Покрытия, преследующие исключительно защитные цели, применяются для скрытых поверхностей машин, для окраски внутренних поверхностей чугунных деталей машин, омываемых маслом (для закрепления литейной пыли), и для простейших сельскохозяйственных машин. В этих случаях окраска производится в один слой (грунтовка) или в два слоя (грунтовка и окраска). В остальных случаях применяют защитно-декоративные лакокрасочные покрытия в несколько слоев краски и лакировку поверхностей. Применяют также специальные изоляционные химически стойкие, термостойкие и огнестойкие (для дерева) покрытия в один или несколько слоев.

Для лакокрасочных покрытий применяют масляные краски и эмали, нитроэмали, перхлорвиниловые и глифталевые эмали, асфальтовые лаки и нитролаки, а для специальных покрытий — электроизоляционные лаки, бакелитовые лаки, жаростойкие эмали и лаки и другие специальные краски, эмали и обмазки.

Процесс нанесения лакокрасочных покрытий слагается из трех основных этапов: 1) подготовка поверхности к покрытию; 2) окраска предварительно подготовленной поверхности; 3) окончательная отделка окрашенной поверхности. Подготовка поверхности к окраске включает очистку и выравнивание поверхности, нанесение грунтовочного и шпатлевочного слоев и шлифование поверхности.

Очистка производится для удаления окалины и ржавчины, масел и грязи, а также старой краски. Удаление окалины производится либо химическим воздействием растворов серной или фосфорной кислоты с последующей промывкой и нейтрализацией, либо механическим воздействием — пескоструйной и дробеметной обработкой, шлифованием и обработкой пневмоинструментом или электроинструментом с шлифовальными кругами и стальными круглыми щетками, либо, для крупных металлоконструкций, путем нагрева ацетиленокислородным пламенем специальной горелкой с последующей очисткой проволочной щеткой.

Для удаления следов масла и других загрязнений применяют промывку посредством специальных моечных агрегатов для струйной промывки или в моечных машинах, либо отжиг в печах с газовым или нефтяным обогревом при 350—650°

Удаление старой краски производят путем промывки (скипидаром, ацетоном, растворами едких щелочей и т. п.) и соскабливания

шпателем, либо пескоструйной или дробеструйной обработкой, либо выжиганием паяльной лампой со специальной горелкой и соскабливания шпателем.

Применяют также фосфатирование для создания пористой фосфатной пленки или оксидирование для создания защитной пленки; эти пленки обеспечивают более прочное соединение наносимых лакокрасочных покрытий с поверхностью.

Выравнивание металлических поверхностей производится путем опайки вмятин, глубоких царапин, следов сварочных швов и тому подобных дефектов с последующим шлифованием опаянных поверхностей на станках или пневмоинструментом и электроинструментом с шлифовальным кругом, в зависимости от габаритов окрашиваемого изделия.

Выравнивание поверхностей деревянных изделий производится путем заделки сучков, удаления и заделки засмолов, проклеивания торцов; для удаления ворса древесины шлифуют смоченную водой поверхность стеклянной шкуркой.

Грунтовочный слой наносится на подготовленную очисткой и выравниванием поверхность с целью обеспечения прочного ее сцепления с последующим слоем покрытия. Грунтовочный слой должен обладать антикоррозийностью, влагонепроницаемостью и эластичностью. Грунтовка производится лако-масляными или битумо-масляными грунтами.

Шпатлевочные слои наносятся стальным или деревянным шпателем на загрунтованную поверхность. Толщина шпатлевочного слоя не должна быть более 0,5 *мм*; каждый такой слой до нанесения нового слоя шпатлевки должен быть просушен. Количество слоев шпатлевки определяется качеством поверхности, подготовка которой должна обусловливать наименьшее количество шпатлевочных слоев, так как большое их количество снижает прочность покрытия. Наибольшее применение в машиностроении получили лако-масляные шпатлевки и быстровысыхающие нитрошпатлевки.

Для сглаживания неровностей зашпатлеванной и высушенной поверхности производят ее мокрое или сухое шлифование, обычно механизированным инструментом. После мокрого шлифования поверхность промывается водой, протирается ветошью или замшей и подвергается сушке. При сухом шлифовании производят последующую обдувку сжатым воздухом, протирку ветошью и смоченной обеспыливающим составом марлей.

Окраска наносится на подготовленную поверхность в один или несколько слоев, в зависимости от предъявляемых к поверхности требований.

Отделка окрашенной поверхности включает лакирование, полирование и художественное оформление.

Лакирование обеспечивает повышенные защитные свойства покрытию и придает ему зеркальный блеск; лаковое покрытие наносится на окрашенную поверхность в один или несколько слоев.

Полирование производят для получения особо ровной и блестящей поверхности путем ее обработки фетровыми и суконными кругами, шкуркой цигейки и т. п. с применением специальных абразивных паст и составов.

Художественное оформление заключается в декоративной отделке изделий путем нанесения узких декоративных линий (цировка), рисунков и фабричных марок.

В машиностроении применяются различные методы окраски изделий, причем во всех случаях рабочие смеси, доведенные разбавлением до необходимой вязкости, должны наноситься тонкими и ровными слоями на сухую поверхность или на сухое ранее нанесенное покрытие.

Ручная окраска кистью требует больших навыков исполнителя и при этом весьма малопроизводительна.

Окраска распылением производится в окрасочных камерах с мощными вентиляционными устройствами. Распыление осуществляется пневматическим пистолетом-распылителем (пульверизатором) с давлением сжатого воздуха 3—6 *ат*. Производительность труда при окраске распылением повышается в 10—20 раз сравнительно с кистевым методом окраски.

В массовом и серийном производстве (преимущественно для деталей малых и средних размеров с простой конфигурацией) окраска распылением может быть автоматизирована.

Для покрытия изделий больших размеров и простой конфигурации (суда, товарные вагоны, платформы грузовых автомобилей и т. п.) применяют бескомпрессорный (без применения сжатого воздуха) метод распыления, при котором распыление происходит исключительно путем гидравлического давления (30—50 *ати*), воздействующего на рабочую смесь в особом аппарате — мультипликаторе. Вязкая краска под этим давлением выходит с большой скоростью из сопла и, встречая сопротивление атмосферного воздуха, распадается на мельчайшие частицы. Наибольшее распространение при бескомпрессорном распылении получили вихревые форсунки, обеспечивающие хорошую пульверизацию вязких лакокрасочных рабочих смесей.

Бескомпрессорное распыление [1] обеспечивает: повышение производительности труда, экономию лакокрасочных материалов и незначительное туманообразование, что обусловливает применение менее мощных вентиляционных устройств сравнительно с распылением сжатым воздухом.

Окраска окунанием применяется преимущественно для антикоррозийных покрытий мелких и средних деталей, имеющих конфигурацию, позволяющую краске стекать не задерживаясь в углублениях. Окраска окунанием производится вручную и автоматически на кон-

[1] Бескомпрессорный метод распыления и аппаратуры для его осуществления разработаны ЦНИИТМАШем.

вейере. В последнем случае применяется подвесной конвейер, который протаскивает подвешенные на нем детали через ванну с краской; это обеспечивается постепенным понижением конвейерного устройства над ванной до уровня, достаточного для окунания в ванну подвешенных деталей и последующим постепенным подъемом его, во время которого избыток краски стекает с окрашенных деталей в ванну.

Автоматическая окраска окунанием на подвесных конвейерах требует площадей примерно в 2—2,5 раза больше, чем при монорельсах с вертикальным подъемом, но значительно повышает производительность труда сравнительно с окунанием на монорельсовых устройствах.

Окраска обливанием применяется для защитных покрытий деталей простой конфигурации и производится вручную на столе, шлангом из бачка или автоматически, в камере с расположенной в ней системой сопел.

Окраска в барабанах и колоколах применяется для однослойного покрытия быстросохнущими красками мелких однотипных деталей (преимущественно нормалей).

Окраска в электрическом поле высокого напряжения [62; 66; 74] имеет по сравнению с обычными способами окраски следующие преимущества:

1) сокращение расхода краски на 30—75% (практически потери краски не превышают 1%);

2) полная автоматизация процесса окраски;

3) возможность получения высокой производительности окраски (скорость окрасочного конвейера достигает 60 *м/мин*);

4) уменьшение эксплуатационных расходов на вентиляцию, отопление, очистку окрасочных камер;

5) низкий расход электроэнергии;

6) высокое качество окраски при почти полном устранении брака по окраске.

Применяются два способа распыления краски при окраске изделий в электрическом поле — пневматический и центробежный (фиг. 122).

При пневматическом способе распыления краски окрашиваемое изделие на подвесном или напольном конвейере проходит через зону окраски, окруженную рамкой с натянутыми тонкими проволоками (коронирующие электроды), соединенными с отрицательным полюсом; изделие соединено с положительным полюсом электрической установки.

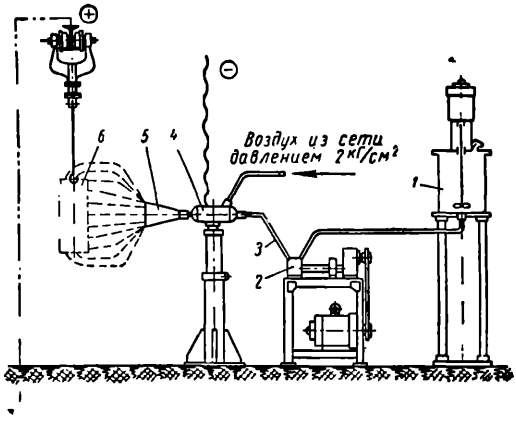
В зону окраски подается струя краски с помощью пистолета-распылителя, расположенного под углом 15° к конвейеру. Попадая в электрическое поле, частицы краски заряжаются и притягиваются к изделию. В целях более равномерной окраски обычно предусматривается медленное вращение изделия (6—10 об/мин).

Для создания электрического поля применяются установки с напряжением от 40 000 до 140 000 *в* с силой тока 0,2—7,5 *ма*.

Высоковольтное напряжение подается от высоковольтного трансформатора. Выпрямленное однополупериодное пульсирующее напряжение получается с помощью кенотронного и селенового выпрямителей.

Расстояние между коронирующими электродами и изделием 250—300 *мм*, между электродами и стенками камеры — 450—600 *мм*.

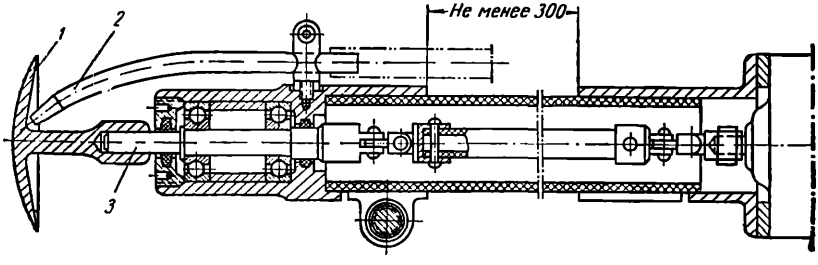
Пневматический способ распыления краски менее экономичен, чем способ центробежного распыления; он требует регулировки сжатого воздуха, смены электродных рам при окраске разнотипных деталей, частой промывки сопел распылителей и т. д., поэтому он применяется для окраски узлов сложной конфигурации, где дает лучшие результаты.



Фиг. 122. Схема окраски в электрическом поле:

1 — бачок; *2* — насос; *3* — шланг; *4* — турбинка; *5* — распылитель; *6* — окрашиваемый предмет.

При центробежном способе распыления краски применяются чашечные и грибковые распылительные головки. Краска подается к внутренней поверхности распылительных головок (чаш), вращающихся со скоростью 500—4000 об/мин, и разбрызгивается за счет центробежного эффекта.



Фиг. 123. Грибковый распылитель с электроприводом:

1 — грибковый распылитель; *2* — подающая трубка; *3* — вал распылителя.

Чашечные головки (чаши) выполняются сменными, самой различной конфигурации и размера, выбираемых на основе опытных данных. У краев чаши заточены так, чтобы коронирующее острие было толщиной 0,2—0,4 *мм*.

Чаша устанавливается на расстоянии около 250 *мм* от окрашиваемого предмета. Для чаши диаметром 150 *мм* диаметр окрашиваемой

поверхности 500 *мм*, а для чаши диаметром 300 *мм* соответственно 1000 *мм*.

Краска подается индивидуальным шестеренчатым насосом под давлением 500 *мм* вод. ст.

При распылении краски грибковым распылителем имеется возможность изменения направления струи краски, что делает этот вид распылителя более универсальным.

Грибковый распылитель выполняется сменным и надевается своим хвостовиком на вал, связанный с двигателем (фиг. 123). К грибку подводится ток. Кроме этого, на кожух распылителя крепится проволочная петля, регулирующая угол наклона струи краски. Проволока заряжена тем же зарядом, что и краска, и отталкивает ее.

Для получения равномерной окраски поверхности предусматривается вертикальное возвратно-поступательное перемещение распылителя со скоростью 0,2—0,6 *м/сек*. Если грибок и деталь неподвижны, то краска ложится в виде баранки [62; 66].

Различают естественную и искусственную сушку лакокрасочных покрытий.

Естественная сушка применима преимущественно для быстросохнущих лакокрасочных материалов (нитроэмали и т. п.). Масляные краски и эмали требуют для естественного высыхания весьма длительного времени.

В целях удаления вредных паров растворителей окрашенные изделия следует помещать в камеру, снабженную вытяжными агрегатами.

Искусственная сушка осуществляется подогретым воздухом (конвекционная сушка), лучеиспусканием (радиационная сушка) и индукционным нагревом (индукционная сушка) в сушильных камерах с непрерывной (конвейерной) или периодической загрузкой.

Сушка подогретым воздухом производится в сушильных камерах, подогреваемых паром до 60—120° или газом до 160—220°. Сушильные камеры с нефтяным нагревом применяются редко, так как топки калориферов этих камер создают на значительном расстоянии вокруг себя очень высокую температуру. Иногда для сушильных камер применяют электронагрев до 60—240° с расположением нагревательных элементов как внутри камеры (естественная циркуляция), так и вне ее (искусственная циркуляция).

Наибольшее применение находят паровые сушильные камеры с батарейно-калориферным обогревом; в этом случае в дополнение к калориферному обогреву внутри камеры устанавливаются отопительные приборы.

Сушка лучеиспусканием основана на быстром нагреве окрашенной поверхности до 150—180° инфракрасным излучением электролами накаливания (мощностью 250—1000 *вт*), направленным на окрашенную поверхность специальными рефлекторами. Возможно применение для радиационной сушки сушильных камер, в которых окрашен-

ное изделие проходит между панелями, нагретыми до 350—700° газовыми горелками.

Продолжительность сушки лучеиспусканием сравнительно с сушкой подогретым воздухом значительно меньше (от 3 до 10 раз).

Индукционная сушка осуществляется на конвейере, движущемся внутри специальных соленоидов, по которым проходит ток частотой 250—800 пер/сек. Температура нагрева в этом случае находится на уровне 200—300°, что обеспечивает весьма интенсивное высыхание окрашенной поверхности. Индукционная сушка сопряжена со значительным расходом электроэнергии.

Сравнительно с естественной сушкой время при искусственной сушке сокращается примерно в 15—20 раз.

Покрытие деталей машин смазывающими веществами. В тех случаях, когда готовые детали машин не поступают непосредственно на сборку, а передаются на хранение или на длительное транспортирование, их покрывают смазкой в целях предохранения от коррозии.

Применяемые в этом случае масла и смазки не должны содержать механических примесей, воды и свободных минеральных кислот. Для нейтрализации кислот иногда добавляют в смазку от 0,02% свободной или связанной щелочи. Для создания лучшей прилипаемости смазки к поверхности детали в смазку добавляют канифоль или мыло.

Наиболее употребительными предохранительными смазками являются минеральные масла — веретенное, машинное, цилиндровое — для непродолжительной (до 1—2 месяцев) защиты; технический вазелин (состоящий из 55% минерального масла, 30% бакинского петролатума, 15% парафина)— для длительной защиты (6—8 месяцев); антикоррозийная смазка стальных деталей (37,5% машинного масла, 37,5% цилиндрового масла, 5% канифоли, 20% вазелина технического) — для защиты при хранении на складах; ружейная смазка, пушечная смазка, снарядная смазка и др.

Технология нанесения смазок включает подготовку поверхностей и нанесение смазки.

Лучшим способом подготовки деталей под смазку является промывка их в баках и моечных машинах. В качестве моечных жидкостей применяют горячие (60—90°) водные растворы: соды (2—2,5%), мыла (1—2%), нейтральной охлаждающей эмульсии (10%); после промывки растворами производится промывка чистой водой или последовательная промывка горячим (60—90°) минеральным маслом и расплавленным (110—115°) техническим вазелином; в последнем случае вместе с остатками моечной жидкости удаляется и вода.

Сушка после мойки производится: сухими древесными опилками, протиркой чистой ветошью, нагретым воздухом в сушильных шкафах, обдувкой сухим подогретым сжатым воздухом; последний метод является наиболее эффективным с точки зрения производительности труда.

Нанесение предохранительной смазки производится окунанием в подогретую смазку (60—70°). Смазка крупных деталей и собранных механизмов производится либо кистями — при жидких смазках, либо мягкой паклей — при густых смазках (засалке); подготовка поверхности в этих случаях производится последовательной протиркой ветошью с обезжиривающими растворителями (бензин, петролейный эфир) или спиртом и сушкой подогретым сжатым воздухом. Нанесение смазки кистями и паклей является малопроизводительным способом. Несравненно более производительный метод нанесения жидких смазок — пульверизация смазки. Этот способ весьма эффективен и обеспечивает надежное покрытие деталей смазкой в тех местах, которые недоступны при других методах смазки.

Исправление брака заготовок в процессе производства деталей машин

В целях экономии металла и в целях использования затраченного труда, случающийся в производстве деталей брак должен по возможности исправляться. Особое значение приобретает исправление брака в тяжелом машиностроении вследствие больших затрат труда и материала на изготовление крупногабаритных деталей машин.

Для исправления брака черных поковок применяют следующие методы.

У тяжелых поковок свободной ковки кривизну исправляют горячей правкой; поперечные рванины и поверхностные плены устраняют вырубкой в процессе ковки; повышенную или пониженную твердость поковки исправляют повторной термической обработкой; перегрев исправляют нормализацией.

У штампованых черных заготовок кривизну исправляют холодной правкой в штампе под прессом или вручную с подгонкой по шаблону или контрольному приспособлению; волосовины, закаты, заусенцы и другие поверхностные дефекты устраняют вырубкой зубилом и зачисткой абразивным кругом; при этом глубина вырубки и зачистки не должна превышать половину припуска на обработку; незначительное местное незаполнение может быть исправлено заваркой; вмятины исправляют также заваркой; заготовки с завышенными (в результате недоштамповки) размерами отбираются и подвергаются обработке до нормальных размеров; перекос может быть исправлен перештамповкой только в штампе с замками и при хорошем направлении бабы в параллелях молота; незначительный перекос (менее половины припуска) исправляют путем зачистки базовой поверхности абразивным кругом (выравнивание поверхности); повышенную или пониженную твердость и чрезмерную вязкость металла поковок исправляют повторной термообработкой; перегрев исправляют нормализацией.

Пережог, расслоение, закалочные трещины, торцовые трещины исправлению не подлежат и заготовки с этими дефектами бракуются окончательно.

Для исправления брака черных литых заготовок применяют следующие методы.

Заливы — неопределенной формы ребра, выступы и другие приливы на теле отливки, образовавшиеся в местах разъема опок или в зазорах между отдельными частями формы — удаляют обрубкой пневматическим зубилом и зачисткой абразивным кругом.

Коробление — изменение контура и размеров отливки под влиянием усадочных напряжений — исправляют правкой под молотом, прессом, или ударами молотка, а также выдерживанием в печи под грузом при температуре 750°

Корольки — небольшие независимо от отливки застывшие металлические шарики в открытых или закрытых раковинах отливки — исправляют газовой или электрической заваркой предварительно расчищенной раковины; при размерах до 20 *мм* — сверлением, нарезанием и ввертыванием пробки, смоченной жидким стеклом; пробки изготовляют из того же металла, из которого отлита заготовка; для отливок из черных металлов применяют также пробки из красной меди; ввернутую пробку расчеканивают, а выступающую ее часть подрубают и запиливают или зачищают абразивным кругом.

Наросты на поверхности отливки, состоящие из металла с прослойками или включениями формовочной земли или шлака, удаляются обрубкой и зачисткой абразивным кругом или обработкой на металлорежущем станке.

Недолив — неполная отливка вследствие недостаточного заполнения металлом литейной формы — может быть исправлен в некоторых случаях наплавкой или наваркой жидким металлом.

Отбел — наличие в разных частях отливки твердых мест, не поддающихся механической обработке — устраняется термообработкой, а именно отжигом при температуре 850—950° с покрытием отбеленных мест слоем окалины и с последующим медленным охлаждением со скоростью 120—180°/час.

Пригар — грубая, шероховатая поверхность отливки, образовавшаяся в результате сплавления формовочных материалов с металлом, — снимают обрубкой и зачисткой абразивным кругом.

Раковины (газовые, земляные, усадочные, шлаковые) заделывают газовой или электрической заваркой; ввертыванием пробок при раковинах до 20 *мм* в поперечнике; металлизацией распылением, предварительно разделанной сверлением или вырубкой раковины. Металлизацию распылением применяют для раковин с поперечным сечением до 12 $мм^2$ после разделки при глубине раковины не более половины ее поперечного размера. При разделке рекомендуется делать в боковых стенках углубления в виде ласточкина хвоста; металлизация цветных отливок и необрабатываемых поверхностей чугунных отливок производится цинковой проволокой любой марки. Для повышения плотности цинкового покрытия его смачивают непосредственно после металлизации два-три раза, по мере высыхания, водой. Для металлизации обрабатываемых поверхностей чугунных отливок

применяют низкоуглеродистую стальную проволоку Заполнение раковины при металлизации производится через полированный или хромированный шаблон (трафарет), отверстие которого делают на 3—5 *мм* больше размера раковины; шаблон устанавливают на расстоянии 4—5 *мм* от поверхности. Образовавшийся при заделке раковины нарост срубают от центра к краям и зачищают место заделки.

Рыхлота и пористость устраняются газовой или электрической заваркой, металлизацией распылением, пропиткой, подчеканкой. Пористые отливки, дающие при гидравлическом испытании течь, могут быть исправлены путем пропитки дефектного места водной или другой окисью металла или смолистым материалом, специально вводимым в раковины. Водная окись получается за счет искусственной коррозии при наполнении дефектного места водой. При незначительном потении такая пропитка в течение нескольких часов дает вполне удовлетворительные результаты.

При исправлении сложных отливок из черных металлов для пропитки применяют 10%-ный водный раствор жидкого стекла или 4,5%-ный раствор нашатыря, вызывающие быструю коррозию. Для пропитки применяют также водный раствор хлорного железа со взмученным железным суриком. После пропитки водными растворами деталь должна сохнуть не менее суток. Цветные отливки из бронзы и алюминия пропитывают 40%-ным спиртовым раствором бакелита.

Дефекты на поверхностях отливок в целях декоративной заделки исправляют специальными мастиками или замазками. Дефектное место, тщательно очищенное от земли, заполняют мастикой, разведенной в воде до состояния густого клейстера, плотно вдавливают ее и заглаживают с поверхности. Мастика засыхает в течение дня, после чего ее затирают куском пемзы или кокса; такая заделка становится незаметной. Особой прочностью обладает специальная замазка, составленная из смеси полевого шпата (2 части), битого стекла (1 часть) и жидкого стекла. Эта масса должна иметь консистенцию сметаны. Затвердевает эта замазка в течение 3—4 дней.

Подчеканкой исправляют отливки, показавшие при гидравлическом испытании малую пористость (росу) и предназначенные для работы при давлениях до 3 *ат*. Небольшие раковины и течь возле жеребейки устраняют также подчеканкой.

Спай (щели и углубления в теле отливки, образованные неслившимися потоками преждевременно застывшего металла), ужимины (неглубокие узкие и длинные вмятины в теле отливки, прикрытые слоем металла, отделенного от тела отливки прослойкой формовочного материала) и трещины исправляются газовой или электрической заваркой.

Механические повреждения отливок исправляются газовой или электросваркой отбитых частей заготовки; в отдельных случаях возможна заварка жидким металлом.

Завышенные размеры отливок исправляются предварительной обдиркой их.

Несоответствие металла техническим условиям по микроструктуре исправляют соответствующей термической обработкой; несоответствие металла по физико-механическим свойствам также может быть исправлено в отдельных случаях термообработкой.

Несоответствие металла техническим условиям по химическому составу исправлено быть не может, и заготовки с этим дефектом бракуются окончательно.

Для исправления брака заготовок, обнаруженного в процессе механической обработки, применяют следующие методы. Кривизну исправляют холодной правкой.

Возможность коробления после черновой обработки должна быть предусмотрена технологическим процессом; коробление исправляют при чистовой обработке, припуск на которую должен быть достаточным для ликвидации этого дефекта. В отдельных случаях коробление может быть исправлено правкой — холодной или с подогревом.

Дефекты поковок и отливок, обнаруженные в процессе механической обработки, исправляются теми же методами, которые были указаны для черных поковок и литых заготовок, с последующей обработкой дефектных мест.

Погрешности размеров заготовок, выходящие за пределы наибольшего предельного размера для наружных поверхностей и наименьшего предельного размера для внутренних поверхностей, исправляются дополнительной механической обработкой.

Погрешности размеров, выходящие за пределы наименьшего размера для внешних поверхностей и наибольшего размера для внутренних поверхностей, могут быть исправлены в ряде случаев путем размерного гальванического покрытия хромом. Размеры наружных поверхностей можно восстановить также металлизацией распылением с предварительной обработкой покрываемой поверхности и последующей обработкой покрытия до заданного размера. Размеры отверстий могут быть восстановлены запрессовкой втулок с предварительным растачиванием или зенкерованием и развертыванием отверстия.

В тяжелом машиностроении широко применяют индивидуальную пригонку. Поэтому обычно запускают в производство в первую очередь основные детали, имеющие охватывающие элементы, с тем чтобы в случае отклонений от чертежа иметь возможность обработать сопрягаемые с ними охватываемые детали с соответствующими размерами (индивидуальная пригонка при обработке на станках). В ряде случаев, однако, целесообразно запускать в первую очередь детали с охватываемыми элементами; например, целесообразно сначала обработать тяжелый коленчатый вал, а отверстия под шейки вала у вкладышей подшипника обработать в соответствии с полученными размерами шейки вала. Вместе с тем наружные посадочные поверхности вкладышей следует выдерживать в соответствии с сопря-

гаемыми с ними поверхностями предварительно обработанной станины.

Отклонения размеров между осями отверстий или от измерительных баз и отклонения в соосности отверстий у крупных корпусных деталей могут быть исправлены в ряде случаев запрессовкой втулок с повторной их расточкой.

Б. Металлокерамические детали машин

Изготовление деталей машин из металлокерамических материалов осуществляется путем прессования смесей металлических порошков в стальных пресс-формах под давлением 1000—6000 *кг/см*^{2} с последующим спеканием спрессованных деталей при температуре ниже точки плавления основного компонента сплава (холодное прессование). Прессование и спекание могут быть объединены путем прессования с нагревом (горячее прессование).

Методы металлокерамической технологии обеспечивают возможность получения тугоплавких материалов, композиций из таких металлов, которые не смешиваются в расплавленном виде (железо—свинец, вольфрам—медь) и композиций из металлов и неметаллических материалов (медь—графит и др.). Изготовление таких материалов другими методами неизвестно.

Для получения металлических порошков обычно используется стружка, получаемая при обработке металлов резанием; мелкая стружка может применяться непосредственно, более крупная подвергается дальнейшей переработке.

Порошки получают дроблением в шаровых мельницах и на бегунах (величина частиц 0,04—0,10 *мм*) или путем измельчения в вихревых мельницах. Такая мельница представляет собой камеру, в которой вращаются с большой скоростью (3000 об/мин.) в противоположных направлениях два пропеллера, создающие вихревые потоки, заставляющие сталкиваться частицы грубо измельченного металла (например, частицы стружки, полученной при обработке резанием); величина частиц после вихревого измельчения 0,02—0,4 *мм*; металлические порошки могут быть получены также путем распыления воздухом и паром легкоплавких металлов и сплавов в жидком виде и другими методами.

Измельченные порошки разделяются на фракции путем просеивания через металлические или шелковые сита, а также путем воздушной сепарации. Смешение порошков осуществляется в барабанах с эксцентрической осью вращения или шаровых мельницах. Прессование осуществляется в пресс-формах на гидравлических или кривошипных прессах.

Спекание осуществляется в газовых или электрических печах при температуре ниже точки плавления основного компонента и имеет целью повышение механических свойств изготовляемых деталей. Время выдержки при спекании колеблется от 15 мин.

до 24 час. в зависимости от размеров изделий и спекаемости материала.

Прочность деталей после спекания значительно возрастает. Иногда для получения необходимых свойств после спекания производят дополнительную механическую или термическую обработку.

Изготовляемым изделиям придаются такие формы и размеры, при которых не требуется никакой обработки или она сводится к выполнению мелких доделочных операций по сверлению отверстий, нарезанию резьб и т. п.

Так получают, например, пористые металлокерамические втулки подшипников, фрикционные диски, фильтры, уплотнения и т. п.

Для доведения пористых металлокерамических деталей до точных размеров обычно применяют калибрование их (холодное обжатие) в пресс-формах.

После холодного обжатия в пресс-формах производят иногда отжиг изделий.

Металлокерамическая технология обеспечивает высокую точность изготовления; например, при размерах подшипников до 50 *мм* обеспечивается точность по диаметру 0,03 *мм*, по высоте 0,13 *мм*, по эксцентричности 0,08 *мм*.

Обработка резанием непористых металлокерамических материалов не отличается от обработки обычных металлов и сплавов. Обработка пористых металлокерамических материалов производится резцами быстрорежущей стали или оснащенными твердыми сплавами, без охлаждения, во избежание попадания жидкости в поры материала. Для предварительной обработки применяются резцы с главным углом в плане 5—8°; для чистовой обработки применяются широкие резцы при следующих режимных условиях обработки: $v = 18 \div 25$ *м/мин*, $s = 0{,}3 \div 0{,}8$ *мм/об*, $t = 0{,}8$ *мм*.

Шлифовальными кругами пористые металлокерамические материалы не обрабатывают, во избежание попадания абразива в поры.

Горячее прессование применяют обычно только для изготовления деталей крупных размеров (весом до 100 *кг*) или для тонких пластин, дисков и других деталей, которые коробятся при спекании.

Для изготовления металлокерамических фрикционных дисков во избежание коробления и отслаивания фрикционного материала от подкладки применяют спекание под небольшим давлением при небольших скоростях обжатия.

В. Детали машин из пластмасс

Формообразование при производстве деталей машин из пластмасс достигается компрессионным и литьевым прессованием, формованием из слоистых термореактивных листовых пресс-материалов, штамповкой и гнутьем.

Компрессионное прессование фасонных деталей производится в пресс-формах, на гидравлических или механических прессах.

Прессование из порошкообразных пресс-материалов производят при удельном давлении от 70 до 700 *кг/см*^{2}, а из слоистых и волокнистых пресс-материалов, текстолитовой и древесной крошки — от 250 до 1000 *кг/см*^{2}, в зависимости от текучести исходного материала, конфигурации детали и конструкции пресс-формы.

Прессование производят при температуре 100—200° в зависимости от применяемого пресс-материала, предварительной его подготовки и времени выдержки, которое определяется из расчета 0,8—1,5 мин. на 1 *мм* наибольшей толщины детали; при этом с повышением температуры прессования время выдержки сокращается. При прессовании листов и плит, изготовляемых из пропитанной смолой ткани, бумаги и древесного шпона время выдержки находится в пределах 4—7 мин. на 1 *мм* толщины.

При литьевом прессовании пресс-материал подогревается в загрузочной камере до полужидкого состояния и через один или несколько каналов проталкивается в оформляющее гнездо пресс-формы. Этот метод прессования применяют для изготовления деталей сложного профиля, со сложной арматурой, или для деталей с глубокими отверстиями малого диаметра. Удельное давление при литьевом прессовании находится в пределах 500—2000 *кг/см*^{2}.

Литье под давлением осуществляется на автоматических литьевых машинах. Пресс-материал подается автоматически из бункера в цилиндр, в котором он пластифицируется, и плунжером проталкивается через сопло и литниковые каналы в оформляющую часть пресс-формы. После охлаждения водой, пропускаемой через каналы пресс-формы, изделие удаляется из пресс-формы выталкивателями [1].

Шприцевание, т. е. непрерывное или циклическое продавливание профильных заготовок, применяют для изготовления профилей равного сечения (прутки, трубы и т. п.). Пресс-материал подается из бункера в цилиндр, в котором размягчается под воздействием тепла, подводимого через рубашку цилиндра, а затем подается поршнем или червяком к головке цилиндра, продавливается через формообразующее отверстие (мундштук) и при выходе из него охлаждается воздухом или водой.

Для изготовления заготовок (листов, плит, болванок и т. п.) и деталей простейшей конфигурации применяют метод литья без давления в формы из алюминиевоцинковых сплавов или дерева.

Автоклавный метод формования слоистых пресс-материалов осуществляется в формах под воздействием тепла и внешнего давления среды автоклава, передаваемого на формуемое, герметизированное с помощью резинового мешка, изделие. Необходимое для прессования давление, порядка 3—6 *кг/см*^{2}, создается нагнетаемой в автоклав водой обычной температуры. Давление может быть повышено до пределов, допускаемых прочностью автоклава. Нагрев формуемого изде-

[1] Наша промышленность выпускает высокопроизводительные автоматические литьевые машины для массового изготовления разнообразных изделий из пластмасс.

лия производится электронагревателями, вмонтированными в гибкую матрицу или в болван (форму). Размеры автоклава достигают десятков метров по длине и 3—5 *м* в диаметре; таким образом, этот метод применим для изготовления крупногабаритных изделий.

Вакуумный метод формования крупногабаритных изделий осуществляется по схеме, аналогичной автоклавному методу, но при вакууме, создаваемом в чехле из прорезиненной ткани, в котором помещается форма с пресс-материалом.

Штамповка пластмасс производится вырубкой и вытяжкой. При вырубке применяют пуансон и вырубное кольцо. Вырубка осуществляется с подогревом материала до требуемой пластичности или без подогрева (при вырубке из листа толщиной до 1,5 *мм*). При вытяжке изделий из фибры заготовку предварительно вымачивают в воде комнатной температуры (выдержка определяется из расчета 1,5—2 час. на 1 *мм* толщины) и устанавливают в вытяжном штампе, изготовляемом обычно из фанерных плит, с прижимным кольцом. После снятия прижимного кольца и обрезки гофра заготовку вместе с пуансоном переносят в сушильную камеру, где производится сушка в течение 12 час. при температуре 65—70°; затем отштампованная деталь снимается на прессе с пуансона и помещается на шаблон с целью кондиционирования по влажности и устранения возможности коробления. Штамповку производят обычно на гидравлических прессах.

Гнутьем можно обрабатывать фибру, древеснослоистые и другие листовые пластмассы. Фибру гнут при влажности 10—12% и увеличивают угол загиба на 10—15° более заданного. Листовые древеснослоистые пластмассы толщиной 1—2,5 *мм* гнут после выдержки в течение 2—3,5 час. в воде, нагретой до 95—98°

В целях повышения прочности, влагостойкости и стабилизации размеров и форм прессованных деталей применяют термообработку в нагретом масле, температура которого постепенно, в течение 1—1,5 час., повышается до 120°; выдержка производится из расчета 15—20 мин. на 1 *мм* толщины детали; после выдержки масло постепенно охлаждается до 40—50°, а затем деталь выгружается.

Высокая точность, получаемая при формообразовании деталей из пластмасс, обычно исключает их последующую обработку.

Обработка резанием применяется в ряде случаев при изготовлении заготовок из конструкционных пластмасс.

Резка листового материала и прутков из конструкционных пластмасс производится распиливанием механическим и ручным способом. Для механического распиливания конструкционных пластмасс применяют ленточные и круглые пилы (типа дереворежущих) при скорости резания 15—20 *м/сек*; круглые мелкозубые пилы применяют при прямолинейном резании листов со скоростью резания 50—65 *м/сек*. Для ручной резки органического стекла и текстолита применяют слесарные ножовки с мелкозубым полотном (шаг меньше 1 *мм*). Для распиливания балинита можно применять также мелкозу-

бые столярные пилы. При распиливании конструкционных пластмасс особое значение приобретает острота режущих кромок зубьев пилы, так как при затупившихся зубьях выделяется большое количество тепла, разрушающе действующего на разрезаемый материал в местах пропила.

Точением обычно обрабатывают заготовки из текстолита, реже из органического стекла. Обработка производится резцами из инструментальной углеродистой, легированной и быстрорежущей стали, а также резцами, оснащенными пластинками твердых сплавов. Для резцов принимают углы заточки $\gamma = 15 \div 20°$, $\alpha = 10 \div 12°$

Обработку производят с подачами до 0,3 *мм/об*; при подаче более 0,3 *мм/об* наблюдается отрывание слоев на выходе резца. Скорости резания при обработке резцами из быстрорежущей стали назначают до 300 *м/мин*, при обработке резцами с пластинками из твердых сплавов — до 800 *м/мин*.

Сверление отверстий в пластмассах слоистого строения следует производить сверлами из быстрорежущей стали, так как сверла из углеродистой стали не обеспечивают высокой производительности, а сверла, оснащенные твердыми сплавами, вызывают при высоких скоростях резания прижоги на поверхности отверстия.

В текстолите сверление отверстий диаметром до 25 *мм* рекомендуется производить сверлами конструкции проф. А. И. Исаева; для отверстий диаметром 20—40 *мм* целесообразно применять стандартные спиральные сверла с двойной заточкой. Для отверстий диаметром более 40 *мм* в листах толщиной до 8 *мм* применяют циркульные резцы [69].

Подачи при сверлении принимают 0,1—0,3 *мм/об*. При подаче более 0,3 *мм/об* наблюдается отслаивание материала на входном или выходном концах отверстия; при подачах менее 0,05 *мм/об* наблюдается разлохмачивание слоев обрабатываемого материала. Во избежание прижогов на поверхности отверстия, скорость резания принимают в пределах 40—60 *м/мин*.

При сверлении гетинакса применяют спиральные сверла из быстрорежущей стали с углом при вершине $\varphi = 100 \div 110°$ Для сверления отверстий диаметром до 6 *мм* можно применять перовые сверла. При сверлении гетинакса хорошие результаты дают сверла, оснащенные твердыми сплавами. Отверстия диаметром более 40 *мм* обрабатывают циркульным резцом. При выборе режимов резания при сверлении гетинакса руководствуются примерно теми же соображениями, как и при сверлении текстолита.

При обработке балинита и прессшпана следует применять те же сверла, что и для обработки текстолита. Рекомендуется производить обработку при скорости резания до 50 *м/мин* и подаче преимущественно в пределах 0,07—0,13 и не более 0,2 *мм/об*.

При сверлении органического стекла применяют спиральные сверла с углом при вершине $\varphi = 70°$; при толщине листа менее 5 *мм* применяют перовые сверла также с углом при вершине $\varphi = 70°$.

Для вырезки отверстий диаметром более 40 *мм* в листах толщиной до 30 *мм* применяют циркульные резцы. Сверление органического стекла рекомендуется производить со скоростью резания 45—50 *м/мин* и подачей 0,06—0,1 *мм/об*; при этих режимах стойкость сверла достигает 40—60 мин.

Рассматривая техологию сверления пластмасс, существенно отметить, что при сверлении пластмасс должно быть обеспечено жесткое крепление обрабатываемой детали, а поверхность входного отверстия должна быть перпендикулярна оси вращения сверла. Сверление следует производить на чисто простроганной подкладке из мягких пород дерева. Сверление пластмасс производят обычно без охлаждения. В связи с усадкой материала диаметр отверстия может получаться меньше диаметра сверла на величину 0,01—0,05 *мм*, что следует учитывать при расчете ожидаемой точности обработки.

Фрезерование пластмасс производят цилиндрическими спиральными фрезами, пазовыми фрезами и однозубыми дисковыми фрезами.

Фрезерование балинита производят со скоростью резания от 50 *м/мин* и выше, в зависимости от режущих свойств материала инструмента. При обработке со скоростью резания ниже 50 *м/мин* наблюдается подрывание волокон обрабатываемого материала. Обычно скорость резания принимают равной 100—200 *м/мин* и подачу 0,1—0,2 *мм/зуб*. Обработку следует производить вращением фрезы в направлении подачи (подача под зуб). При обработке фрезами из быстрорежущей стали скорость резания принимают 300—675 *м/мин*. Наиболее качественная обработка прессшпана получается при скоростях резания более 150 *м/мин* и подачах 0,02—0,04 *мм/зуб*. При обработке текстолита принимают скорость резания равной 500—1500 *м/мин*, в зависимости от глубины резания и подачи, которая выбирается в пределах 0,15—0,5 *мм/зуб*.

При обработке органического стекла фрезами со спиральным зубом принимают скорость резания до 200 *м/мин* и подачу 0,03 *мм/зуб*; при скорости резания более 200 *м/мин* качество обработанной поверхности ухудшается за счет воздействия на обрабатываемую поверхность выделяющегося при резании тепла. Стойкость фрез из углеродистой стали при этом режиме обычно превышает 100 мин. При обработке органического стекла пазовой трехсторонней фрезой принимают скорости резания 200—400 *м/мин* и подачи 0,03—0,05 *мм/зуб*.

Шлифование и полирование применяют обычно при обработке органического стекла. Шлифование производят бархатной шкуркой: предварительное—зернистостью № 325 и чистовое—№ 400 и выше. Шлифование производят при обильном смачивании водой, перемещая шлифовальник криволинейно. К шлифованию всей поверхности обрабатываемой заготовки прибегают редко; чаще зашлифовывают единичные царапины и недостаточно чисто обработанные места с последующим выводом следов шлифования полированием пастой.

Полирование органического стекла производят мягким кругом с применением специальной пасты по рецепту ВИАМа; при этом окружная скорость полировального круга принимается 500—600 *м/мин*. Чистовое полирование производят полировальными кругами: полотняным с окружной скоростью 1000—1100 *м/мин* или замшевым — со скоростью 900—1000 *м/мин*. При особо высоких требованиях к качеству отделки поверхности производят глянцевание замшевыми кругами со скоростью резания 2500—3000 *м/мин* или кругами из бумажной фланели при скорости резания 1750—2100 *м/мин*.

§ 2. ХАРАКТЕРИСТИКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МЕТОДОВ СБОРКИ

Характеристика сборки методами полной и групповой взаимозаменяемости, методом регулировки, методом пригонки; слесарно-пригоночные работы и их механизация.

Характеристика методов выполнения неподвижных разъемных соединений; технология выполнения, средства механизации и технический контроль резьбовых, шпоночных, шлицевых и штифтовых соединений

Характеристика методов выполнения неподвижных неразъемных соединений; технологические расчеты и способы выполнения соединений с гарантированным натягом, осуществляемых под давлением, путем теплового воздействия на сопрягаемые детали, стяжками; соединения, выполняемые развальцовкой клепкой, сваркой, пайкой, склеиванием, холодной штамповкой. Сборка подвижных соединений.

Особенности сборки деталей из пластмасс.

Применяемые в машиностроении методы сборки базируются либо на принципе взаимозаменяемости, либо на принципе индивидуальной пригонки сопрягаемых деталей.

Преимуществами методов сборки, базирующихся на принципе взаимозаменяемости, являются: а) простота осуществления сборки, сводящейся лишь к соединению сопрягаемых деталей и узлов без каких-либо дополнительных работ, увеличивающих трудоемкость и удлиняющих цикл сборки; б) возможность организации поточной сборки; в) возможность кооперирования производства; г) упрощение снабжения запасными частями и ремонта парка машин, находящихся в эксплуатации.

Эти преимущества методов сборки, основанных на принципе взаимозаменяемости, обусловили широкое применение их в массовом и серийном производстве.

Когда допуски на размеры сопрягаемых деталей, установленные по конструктивным соображениям, равны или больше технологических допусков на те же размеры, сборка может производиться методом полной взаимозаменяемости. В тех случаях, когда конструктивные допуски меньше технологических, возникает риск получения соединений, не удовлетворяющих предъявляемым к ним требованиям, что вынуждает вводить дополнительные работы для получения годных соединений и нарушать тем самым принцип взаимозаменяемости. Примерами нарушения принципа взаимозаменяемости могут служить: штифтовое соединение с посадкой охваты-

вающей детали на коническую шейку вала, когда требуется совместное сверление и развертывание отверстия под штифт в сопряженных деталях; непосредственная притирка клапанов к их седлам в двигателях внутреннего сгорания.

Поточность сборки не нарушится, если эти работы выполняются в процессе механической обработки заготовок деталей, которые передаются затем на сборку спаренными.

В тех случаях, когда конструктивные допуски меньше технологических, вместо дополнительных работ пригоночного характера, неприемлемых в условиях поточной сборки, целесообразно пользоваться методом групповой взимозаменяемости. Этот метод заключается в том, что требуемые по конструктивным соображениям допуски посадок получают не за счет выполнения размеров деталей в узких пределах допусков, а путем соответствующего подбора охватывающих и охватываемых деталей, изготовленных с увеличенными допусками на размеры; при этом соединение деталей можно производить путем: а) непосредственного подбора, б) предварительной сортировки деталей на группы, в) комбинации сортировки деталей на группы с непосредственным подбором.

При непосредственном подборе сборщик выбирает из всех доставленных на сборку деталей такие, которые на ощупь или по щупу дают требуемую посадку. К недостаткам этого метода относятся: а) неприемлемость в условиях поточной сборки вследствие значительных колебаний времени, затрачиваемого на подбор; б) зависимость качества посадки, от квалификации и опыта сборщика.

При предварительной сортировке деталей на группы разбивают поля допусков сопрягаемых деталей на несколько равных частей и сортируют детали на столько же групп таким образом, чтобы в каждую группу вошли охватывающие и охватываемые детали этой группы; при этом в первую группу войдут охватывающие и охватываемые детали, имеющие наибольшие предельные размеры, а в последнюю — детали, имеющие наименьшие предельные размеры.

Практически метод групповой взаимозаменяемости осуществляется следующим образом: 1) устанавливают приемлемые для производственных условий допуски на размеры сопрягаемых деталей, т. е. технологические допуски; 2) определяют, какой получился бы допуск посадки при установленных технологических допусках; 3) определяют число групп сортировки деталей; 4) определяют допуски для охватывающей и охватываемой деталей каждой группы. Допуск посадки δ_s, как известно, определяется по формуле

$$\delta_s = \delta_a + \delta_b.$$

Число групп n определяем как частное от деления допусков посадок по формуле

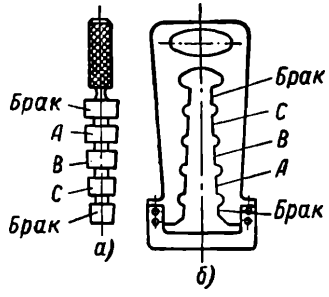
$$n = \frac{\delta_{a_m} + \delta_{b_m}}{\delta_{a_к} + \delta_{b_к}},$$

где $\delta_{a_т}$ и $\delta_{b_т}$ — технологические допуски на размеры сопрягаемых деталей;

$\delta_{a_к}$ и $\delta_{b_к}$ — конструктивные допуски на размеры сопрягаемых деталей.

Допуски на детали каждой группы определяем приближенно делением технологических допусков на число групп.

Сортировку деталей на группы производят на специальных сортировочных машинах. В начальный период введения селективной сборки пользовались ступенчатыми пробками (фиг. 124, *а*) и скобами (фиг. 124, *б*).



Фиг. 124. Специальные ступенчатые калибры для сортировки деталей на группы.

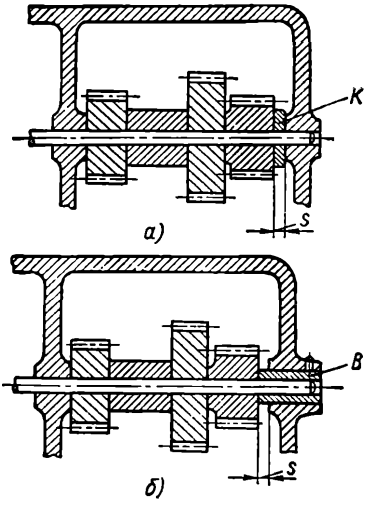
Детали каждой группы снабжаются соответствующим клеймом (А, В, С) и доставляются на сборку в особой таре для каждой группы.

Комбинация сортировки деталей на группы с непосредственным подбором заключается в том, что в пределах каждой группы производится непосредственный подбор сопрягаемых деталей, чем достигается лучшая посадка. Этим комбинированным методом пользуются, в частности, при сборке прецизионных подшипников качения и в ряде других случаев.

При сортировке деталей на группы количество деталей в разных группах не будет одинаковым, как это вытекает из анализа кривых распределения размеров обработанных деталей. Кривые распределения для охватывающих и охватываемых деталей также не будут совершенно одинаковыми. Поэтому некоторая часть деталей при сборке методом групповой взаимозаменяемости не может быть использована, вследствие чего увеличивается незавершенное производство. Во избежание этого целесообразно пользоваться методом, аналогичным методу работы по формуляру, применяемому в единичном производстве. В этом случае сортируют на группы детали, узкие пределы допусков которых труднее выдержать в производственных условиях; в большинстве случаев такими являются охватывающие детали; в зависимости от числа деталей, получившегося при сортировке в каждой группе, изготовляются в пределах частичного допуска соответствующей группы парные с ними детали. Этот метод находит применение в зарубежном машиностроении.

Сущность сборки методом регулировки заключается в том, что на размеры деталей, входящих в узел или комплект, устанавливают технологические допуски, а требуемая посадка достигается введением в размерную цепь дополнительного компенсирующего звена. В качестве примера на фиг. 125 показана сборка методом регулировки путем подбора соответствующего размера

кольца *К* или перемещением втулки *В*. Компенсаторами могут служить мерные шайбы и комплекты прокладок, клинья, втулки, регулируемые винты и другие устройства. Преимуществами этого метода сборки являются: возможность производить обработку входящих в узел деталей по расширенным допускам, что упрощает механическую обработку и снижает ее трудоемкость; простота сборки при высокой точности ее выполнения; возможность регулировки не только при сборке, но и в процессе эксплуатации.



Фиг 125. Схема сборки методом регулировки:

а — кольцом *К*, подбираемым в зависимости от получившегося зазора *s*; *б* — перемещаемой втулкой *В*.

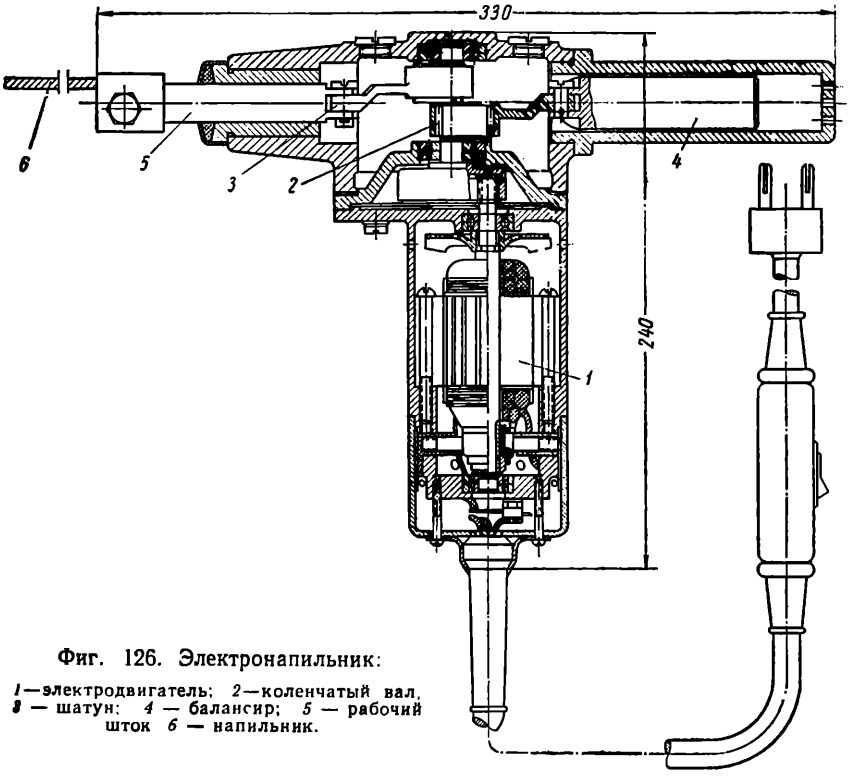
Сборка методом индивидуальной пригонки заключается в том, что заданная точность сопряжения достигается не за счет выдерживания размеров деталей в узких пределах допусков, а путем индивидуальной пригонки одной из сопрягаемых деталей к другой. Пригонкой называют дополнительную ручную или механическую обработку сопрягаемой поверхности детали с целью получения заданной посадки, геометрической точности поверхности и ее качества.

Основными видами слесарно-пригоночных работ являются: опиливание, зачистка, шабрение, притирка, полирование, обработка отверстий по месту.

Слесарно-пригоночные работы в единичном и мелкосерийном, а иногда и в серийном производстве имеют большой удельный вес и, если принять во внимание, что эти работы являются весьма трудоемкими и требуют высокой квалификации исполнителя, то становится очевидным значение повышения производительности труда при выполнении этих работ, которое достигается путем их механизации.

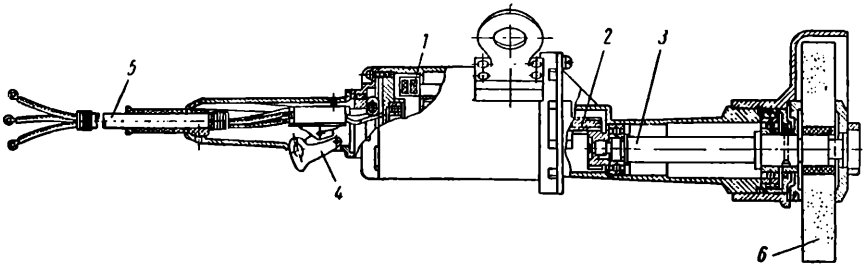
Опиливание производят в основном для снятия припуска в целях получения требуемого линейного размера при сборке или в целях устранения пространственного отклонения, возникшего после обработки заготовки, например, вследствие перераспределения внутренних напряжений.

Механизация опиливания достигается применением опиловочных станков, в которых рабочим инструментом являются опиловочные диски или кольца; электронапильников (фиг. 126); ручных электрических и пневматических машин (фиг. 127) или переносных приводов с гибким валом (фиг. 128) и с абразивными кругами, используемых для пригонки поверхностей у крупногабаритных деталей; перенос-



Фиг. 126. Электронапильник:

1—электродвигатель; *2*—коленчатый вал, *3* — шатун; *4* — балансир; *5* — рабочий шток *6* — напильник.

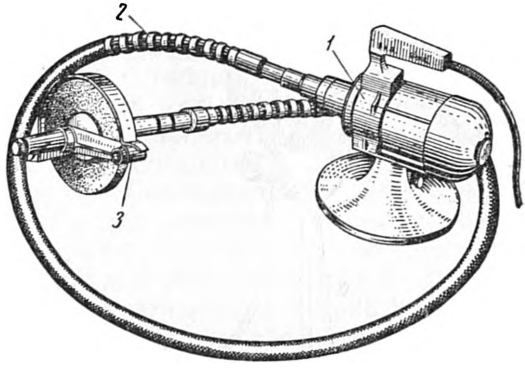


Фиг. 127. Ручная опиловочная (шлифовальная) машина И-66:

1 — электродвигатель; *2* — передача; *3* — шпиндель; *4* — выключатель; *5* — электрокабель; *6* — шлифовальный круг.

ных и передвижных универсальных электроприводов с гибким валом (фиг. 129), вращающих специальные напильники или абразивные головки различной формы (фиг. 130).

Зачистка личными напильниками и шкуркой производится обычно по контуру детали для удаления неровностей, забоин, заусенцев, а также иногда после опиливания. Средства механизации, применяемые при зачистке те же, что и при опиливании.



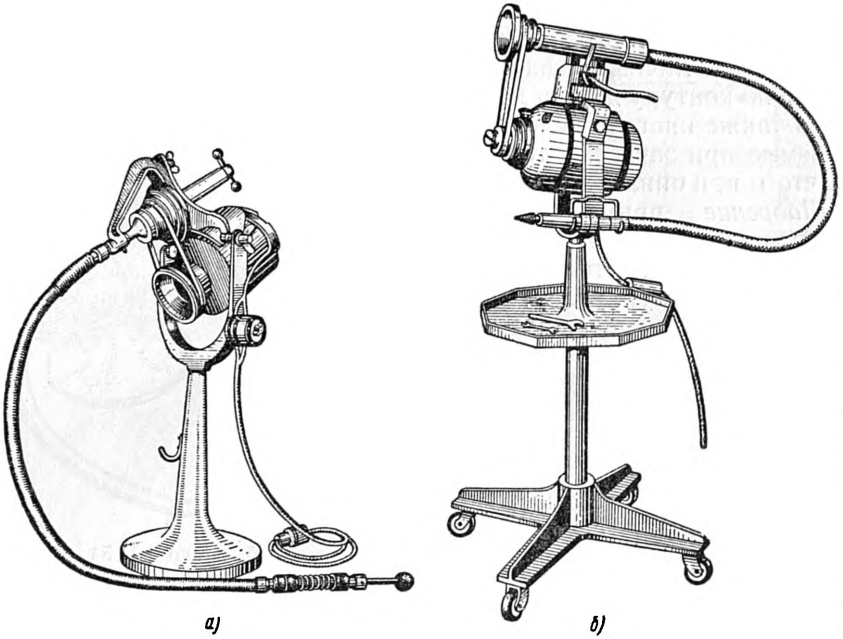
Фиг. 128. Переносный привод И-54 с гибким валом и абразивным кругом:

1 — электродвигатель; *2* — гибкий вал; *3* — рабочая головка с шлифовальным кругом.

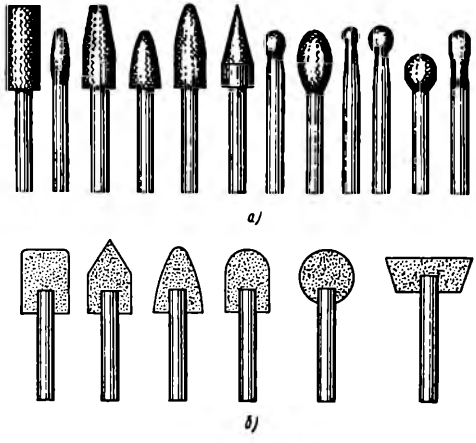
Шабрение применяют главным образом для достижения плоскостности сопрягаемых поверхностей направляющих и перемещающихся по ним кареток, для обеспечения плотного прилегания поверхностей разъема соединяемых деталей, для получения требуемой опорной поверхности в подшипниках скольжения. В целях повышения производительности труда применяют головки для механического шабрения с шатунно-кривошипным механизмом или иным устройством, преобразующим вращательное движение в возвратно-поступательное; вращение передается головке гибким валом от переносной или передвижной электродвигательной установки. Более радикальным мероприятием является замена шабрения шлифованием, тонким растачиванием и окончательной обработкой отверстия прошивкой.

Притирка применяется в тех случаях, когда необходимо обеспечить герметичность соединения (клапаны двигателей внутреннего сгорания, плунжерные пары топливной аппаратуры и т. п.). При слесарно-пригоночных работах производится непосредственная притирка сопрягаемых деталей. Притирка на специальных притирочных станках производится обычно в процессе механической обработки заготовок; при непосредственной притирке сопрягаемых деталей они передаются на сборку спаренными.

Полирование при слесарно-пригоночных работах производят после обработки опиливанием с целью повышения чистоты поверхности. Процесс полирования осуществляется так же, как и при обработке мягким кругом, с применением тонких абразивных порошков или полировальных паст. Полирование шеек валов производят во время их вращения с помощью простых приспособлений (жимков), в которые закладывают последовательно кожу, сукно, замшу, смазанные мастикой из парафина с тонким абразивным порошком, либо полировальной пастой.



Фиг. 129. Переносные (*а*) и передвижные (*б*) универсальные электроприводы с гибким валом.

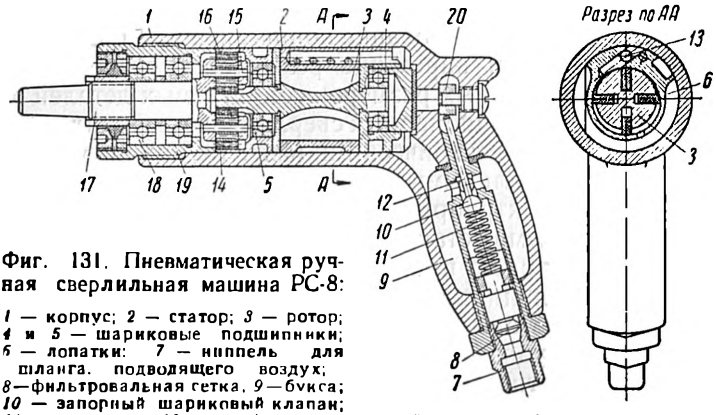


Фиг 130. Фасонные напильники (*а*) и абразивные головки (*б*).

Обработка отверстий по месту производится после выверки заданного положения сопряженных деталей; отверстия сверлятся, иногда развертываются; в ряде случаев производится также цекование под головку винта или гайку, зенкование коническое или цилиндрическое для потайной головки и нарезание резьбы под стопорные винты. В зависимости от габаритных размеров сопрягаемых деталей эти операции производят: на стационарных сверлильных станках; пневматическими (фиг. 131) или электрическими (фиг. 132) ручными сверлильными машинами; сверлильными машинами, приводимыми в движение от универсальных электроприводов с гибким валом; переносными радиально-сверлильными станками (в тяжелом машиностроении). При выполнении этих работ применяют при необходимости различные приспособления, воспринимающие усилия подачи.

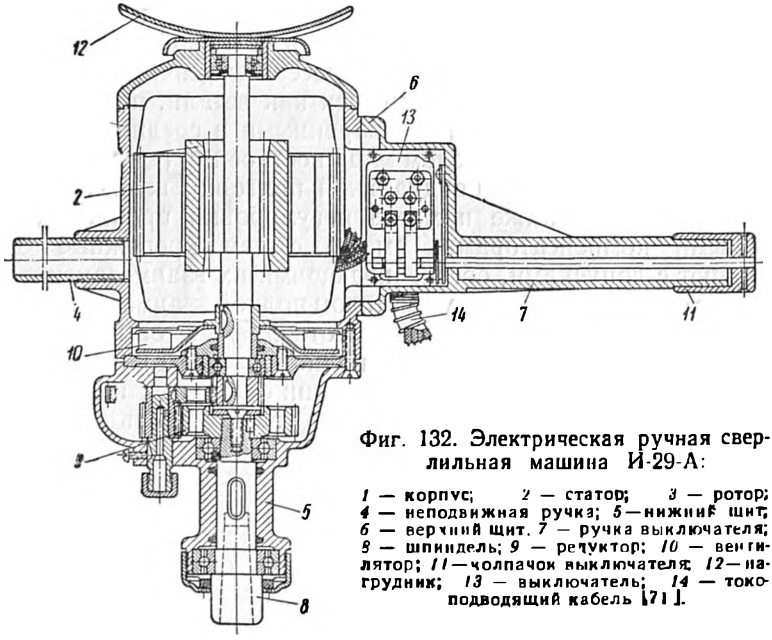
Рассмотренные методы сборки применяются, строго говоря, во всех трех типах производства и при различных организационных формах сборки. В частности, например, при поточной сборке автомобилей (массовое производство) сборка осуществляется в основном методом полной взаимозаменяемости, но вместе с тем ряд соединений осуществляется методом групповой взаимозаменяемости (цилиндр — поршень; поршневой палец — шатун — поршень), а также методом регулировки (соединения с набором прокладок и др.) и, наконец, даже методом пригонки (индивидуальная притирка клапанов к седлам); то обстоятельство, что пригонка при поточной сборке производится предварительно, а именно в процессе механической обработки, не меняет сущности метода сборки, так как детали, подвергавшиеся пригонке, передаются на сборку спаренными и соединяются только пригнанными парами. В тяжелом машиностроении (единичное производство) удельный вес индивидуальной пригонки велик, но наряду с ней применяется также и метод регулировки прокладками или подвижными компенсаторами; вместе с тем крепежные детали изготовляют с допусками, обеспечивающими их взаимозаменяемость, и собирают с базовыми деталями методом полной взаимозаменяемости. Сборка нормализованных узлов, изготовляемых обычно сериями, может производиться методами как полной, так и групповой взаимозаменяемости; кроме того, при соединении отдельных нормализованных деталей с базовыми не исключена возможность применения метода непосредственного подбора.

Сборка осуществляется путем многообразных неподвижных и подвижных соединений. Неподвижные соединения применяются в тех случаях, когда требуется неизменное взаимное положение сопряженных элементов. Подвижные соединения обеспечивают возможность взаимного перемещения сопряженных деталей. Как неподвижные, так и подвижные соединения выполняются разъемными и неразъемными. Разъемными называют соединения, которые могут быть разобраны без особых затруднений и без повреждения сопряженных элементов или крепежных деталей. Неразъемными называют соединения, разборка которых при эксплуатации не предусмотрена,



Фиг. 131. Пневматическая ручная сверлильная машина РС-8:

1 — корпус; *2* — статор; *3* — ротор; *4* и *5* — шариковые подшипники; *6* — лопатки; *7* — ниппель для шланга, подводящего воздух; *8* — фильтровальная сетка, *9* — букса; *10* — запорный шариковый клапан; *11* — пружина, *12* — штифт, отжимающий шарик; *13* — воздухоподводящий канал; *14* — сателлиты редуктора *15* — пальцы игольчатых подшипников; *16* — зубчатое колесо; *17* — шпиндель; *18* — шариковые подшипники шпинделя; *19* — стакан; *20* — пусковой эксцентриковый курок [71].



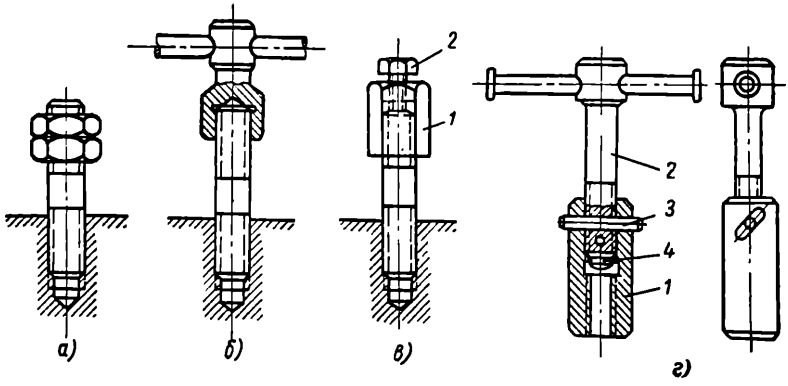
Фиг. 132. Электрическая ручная сверлильная машина И-29-А:

1 — корпус; *2* — статор; *3* — ротор; *4* — неподвижная ручка; *5* — нижний щит; *6* — верхний щит, *7* — ручка выключателя; *8* — шпиндель; *9* — редуктор; *10* — вентилятор; *11* — колпачок выключателя; *12* — нагрудник; *13* — выключатель; *14* — токоподводящий кабель [71].

а потому крайне затруднительна и сопровождается либо повреждением сопряженных элементов, либо разрушением крепежных деталей или скрепляющего шва.

К неподвижным разъемным соединениям относятся резьбовые, шпоночные и шлицевые. Эти соединения осуществляются в ряде случаев в сочетании с переходными посадками (глухой, тугой, напряженной, плотной) и с посадкой на конус.

Резьбовые соединения осуществляются обычно посредством шпилек, болтов и винтов.

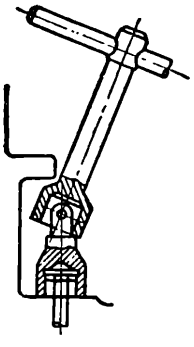


Фиг 133. Способы ввертывания шпилек.

Резьбовые соединения шпильками применяются преимущественно при непосредственном сопряжении плоских поверхностей или с прокладками между ними. Соединению предшествует ввертывание шпилек в базовую деталь. Способы ввертывания шпилек показаны на фиг. 133: а) при помощи двух гаек, из которых одна играет роль контргайки; при ввертывании пользуются верхней гайкой, при вывертывании — нижней гайкой; б) ключом, применяемым при угле подъема нижней резьбы, меньшим угла подъема верхней резьбы; в) приспособлением, состоящим из гайки *1* и контрвинта *2*; после затяжки шпильки ослабляют контрвинт и свободно свинчивают гайку рукой; г) ключом, состоящим из гильзы *1* и контрвинта *2*, со штифтом *3* и закаленной пяткой *4*; контрвинт может поворачиваться на некоторый угол, ограниченный величиной прорези, в которую входит штифт *3*; при навинчивании гильзы *1* на ввертываемую шпильку контрвинт должен находиться в верхнем положении; когда торец шпильки дойдет до пятки *4*, контрвинт сместится на некоторую величину вниз и создаст натяг на резьбе шпильки, необходимый для ее ввинчивания; для снятия ключа достаточно повернуть контрвинт в обратную сторону; при этом натяг ликвидируется и гильза свободно сходит с резьбы шпильки. Ограничиваясь описанием этих простейших устройств для ввинчивания шпилек, укажем, что имеются приспособления, захватывающие шпильку за резьбовую или

гладкую ее поверхность и создающие силу трения, позволяющую осуществить ввинчивание шпильки. Однако все эти способы являются малопроизводительными. Применение электрошпильковерта с самораскрывающейся головкой для механизированного ввинчивания шпилек во много раз повышает производительность труда.

Шпильки должны быть перпендикулярны плоскости сопряжения (отклонение допускается в пределах 0,3—1,5 *мк* на 1 *мм* длины выступающей части шпильки) и иметь заданную высоту над этой плоскостью. Перпендикулярность шпильки может быть проверена обычным угольником и щупом, а ее высота — предельным шаблоном. Для получения заданного размера выступающей части шпильки применяют мерные кольца, которые надевают на шпильку после ее ввертывания от руки.



Фиг 134. Торцовый шарнирный ключ.

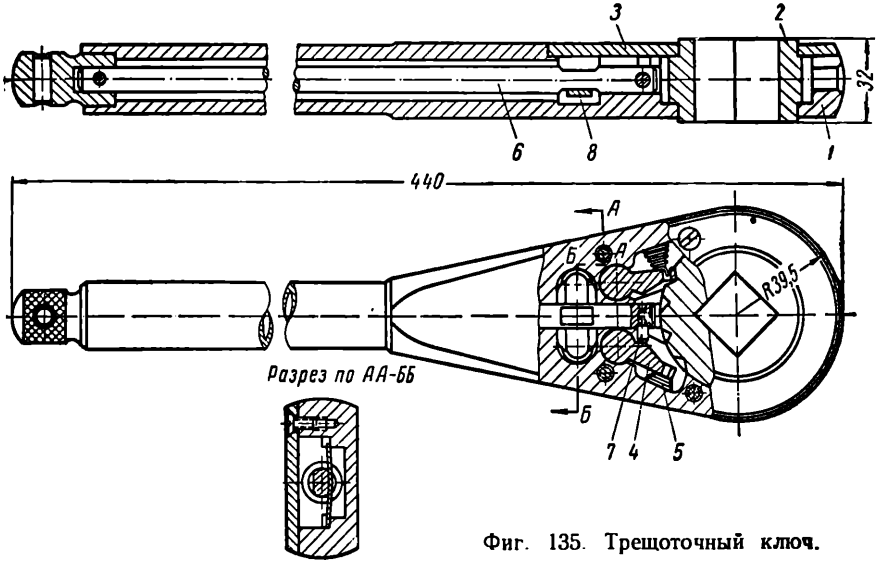
Соединение болтами применяют в тех случаях, когда отверстия под болты в сопрягаемых деталях могут быть сквозными. Соединение винтами применяют обычно в тех случаях, когда отверстие в базовой детали должно быть глухим, а соединение в процессе эксплуатации подвергается частой разборке. Поэтому посадка резьбы для винтовых соединений должна быть менее плотной, чем в соединениях, осуществляемых шпильками; вместе с тем в этих случаях резьба винта и в базовой детали должна выполняться особенно тщательно во избежание быстрого ее износа и порчи.

Выполнение болтовых и винтовых соединений обычными гаечными ключами и отвертками связано с большой затратой времени. Сокращение времени на выполнение болтовых соединений достигается применением усовершенствованного ручного инструмента. Таким инструментом является торцовый ключ, применяемый для завертывания гаек в открытых местах; торцовый коловоротный ключ, еще более сокращающий время завертывания гайки; торцовый шарнирный ключ (фиг. 134), применяемый в тех случаях, когда нельзя пользоваться обычным торцовым ключом; трещоточный ключ (фиг. 135) и фрикционный ключ (фиг. 136), применяемые в тех же случаях, а также для резьбовых соединений, в которых применяются посадки с натягами; торцовый шарнирно-трещоточный ключ, применяемый в тех же случаях при еще более затрудненном доступе.

Показанная конструкция двустороннего трещоточного ключа включает рукоятку *1*, храповик *2*, крышку *3* и собачки *4*, поджатые пружиной *5*. Переключение ключа на правое или левое вращение производится поворотом стержня *6* на 180° вокруг его оси. При этом штифт *7* отжимает ту или иную собачку. Плоская пружина *8* фиксирует стержень в крайних положениях благодаря имеющимся на нем лыскам.

Для обеспечения заданного момента затяжки гаек применяют тарированные ключи.

На фиг. 137 показан торцовый тарированный ключ. На стержне *1* закреплена головка ключа *2*; стержень *1* соединен со стаканом *3* штифтом *4*; головка *5* с рычагом *6* соединена со стержнем *1* винтом *7*, а со стаканом *3* — торцовыми зубьями, находящимися в сцеплении под действием пружины *8*; сжатие пружины регулируется гайками *9*



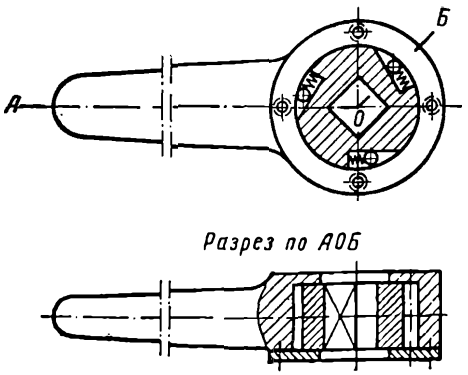
Фиг. 135. Трещоточный ключ.

и *10*; сцепление торцовых зубьев нарушается при достижении заданного усилия на рукоятке *6*, устанавливаемого предварительным сжатием пружины *8*; выключение происходит вследствие скольжения штифта *4* по наклонной прорези в стакане *3*, который отжимается от головки *5*, провертывающейся при этом вхолостую.

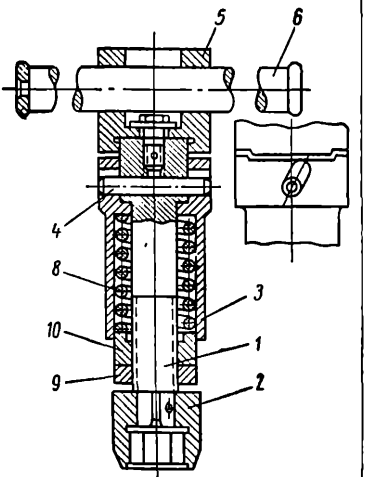
Для сокращения времени выполнения винтовых соединений применяется механическая отвертка.

На фиг 138 дана схема тарированной отвертки, у которой муфта *1* зацепляется торцовыми зубьями с отверткой *2* под действием пружины *3*, сжатие которой регулируется гайкой *4*; сцепление торцовых зубьев нарушается при достижении момента затяжки, определяемого сжатием пружины *3*.

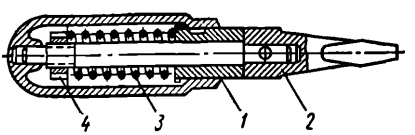
В целях механизации процессов выполнения болтовых и винтовых соединений применяются электрические и пневматические машины, значительно ускоряющие процесс выполнения соединений и повышающие качество соединения путем обеспечения равномерной затяжки. Вследствие большого веса по сравнению с электрическими, пневматические машины применяются редко.



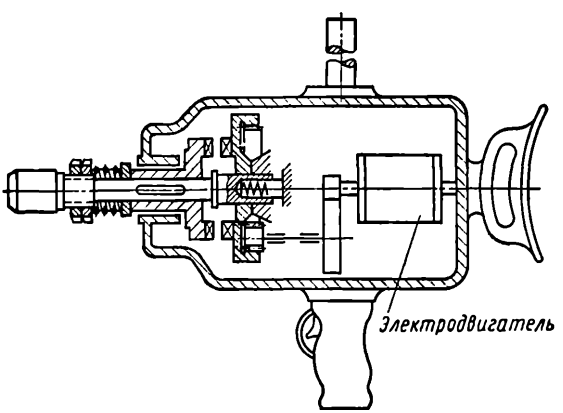
Фиг. 136. Фрикционный ключ.



Фиг 137 Торцовый тарированный ключ.



Фиг 138. Тарированная отвертка.

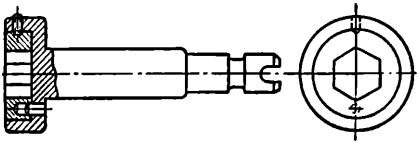


Фиг 139. Схема ручной электрической машины для винтовых соединений (электрогайковерта).

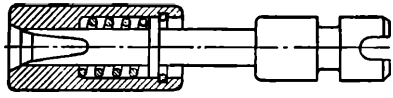
На фиг. 139 показана схема ручной электрической машины для болтовых и винтовых соединений. На шпиндель машины могут быть установлены различные инструменты, меняющие ее назначение. Установкой торцового ключа получаем гайковерт, захвата для шпилек — шпильковерт, отвертки — винтоверт.

При достижении момента затяжки винтового соединения торцовые зубья муфты, снабженные скошенными гранями, раздвигают диски, преодолевая сопротивление пружины, сжатие которой регулируется в соответствии с заданным моментом затяжки.

Применение быстроходных электродвигателей для этих машин (10 000—12 000 об/мин) снижает их вес на единицу мощности.



Фиг. 140. Вставка к ручной электрической машине с торцовым ключом.



Фиг. 141. Вставка к ручной электрической машине для отвертки

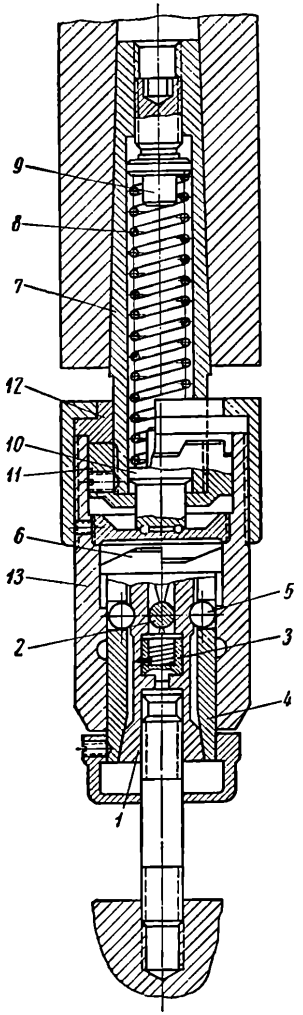
Питание электродвигателей переменным током повышенной частоты (180—200 пер/сек) требует применения специального умформера.

В целях безопасности корпуса электрических машин заземляются, для чего в подводке предусматривается дополнительный провод.

Шпиндели электрических машин снабжаются устройствами для смены вставок. Вставка для торцового ключа (с закрепленной сменной торцовой головкой) показана на фиг. 140, а вставка для отвертки — на фиг. 141. На фиг. 142 показана самораскрывающаяся головка для механизированного завинчивания шпилек. Шпилька захватывается внутренней резьбой губок *1*, которые удерживаются пальцем *2*. Сначала губки свободно охватывают шпильку, но когда последняя упрется своим торцом в кнопку *3*, губки войдут внутрь втулки *4*, сцепятся с ней посредством шариков *5* и сожмутся конической частью втулки *4*, закрепив при этом шпильку в патроне. Косые зубья муфты *6* войдут в зацепление с зубьями втулки *4*, шпилька начнет вращаться и завинчиваться в резьбу базовой детали.

Высота выступающей части шпильки регулируется соответствующей установкой чашки, при упоре которой в плоскость базовой детали втулка *4* продолжает вращаться и опускаться, пока зубья на ее торце не выйдут из зацепления с зубьями муфты *6*. В этот момент губки *1* раскрываются и освобождают шпильку. В хвостовике *7* головка пружины *8* упирается в винт *9*. На хвостовике *7* закреплена зубчатая полумуфта *11*, сцепляющаяся с полумуфтой *12*. Когда шпилька будет полностью завинчена, стакан *13* остановится, но хвостовик *7* будет продолжать вращаться со шпинделем. При этом зубья полумуфты *12* будут подниматься по скосам зубьев полумуфты *11* и поднимать ста-

кан *13*, что посредством плунжера *10* вызывает сжатие пружины *8* и затяжку ввинчиваемой шпильки. При дальнейшем смещении стакана *13* вверх произойдет размыкание зубьев муфты *6* и прекращение передачи крутящего момента на шпильку [71] Недостатком головок с захватом шпилек за резьбу является вытягивание ниток резьбы под гайку. Поэтому при увеличенном натяге посадочной части шпильки целесообразно удерживать шпильку не за резьбу, а за поясок.



Фиг. 142. Самораскрывающаяся головка для механизированного завинчивания шпилек.

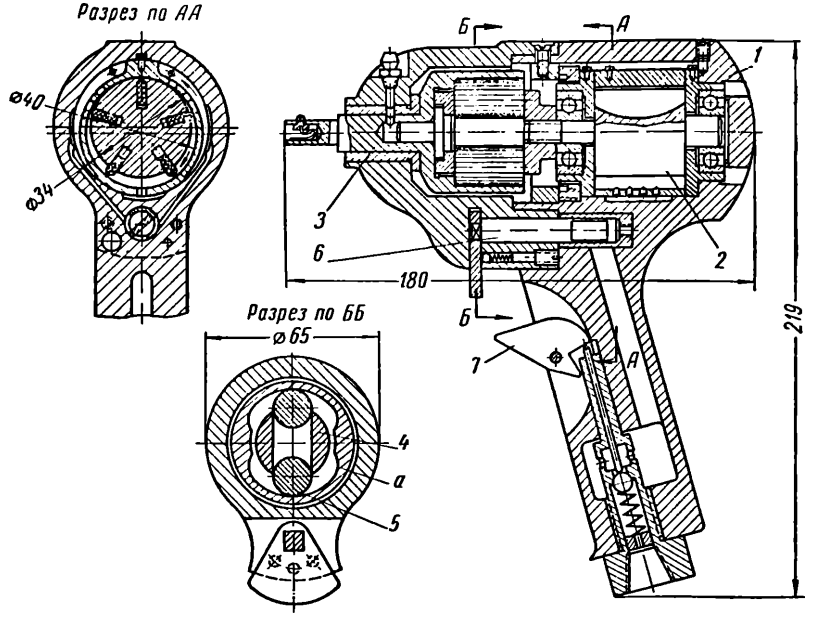
В последнее время получили широкое распространение гайковерты ударного действия. Одна из конструкций подобного гайковерта приведена на фиг. 143.

Он состоит из сборного корпуса *1*, в котором смонтирован пятилопастный пневматический роторный двигатель *2*, ударный роликовый механизм и шпиндель *3* с фиксатором для сменных торцовых ключей. Вращение от вала пневмодвигателя передается на обойму *4* роликов *5*. Последние при вращении обоймы ударяют о выступы *а* шпинделя и сообщают ему ударные импульсы, обеспечивая необходимый момент затяжки винтового соединения. Реверсирование вращения осуществляется изменением направления подачи сжатого воздуха при помощи золотника *6*. Пусковое устройство, приводимое в действие от курка *7*, вмонтировано в рукоятку гайковерта.

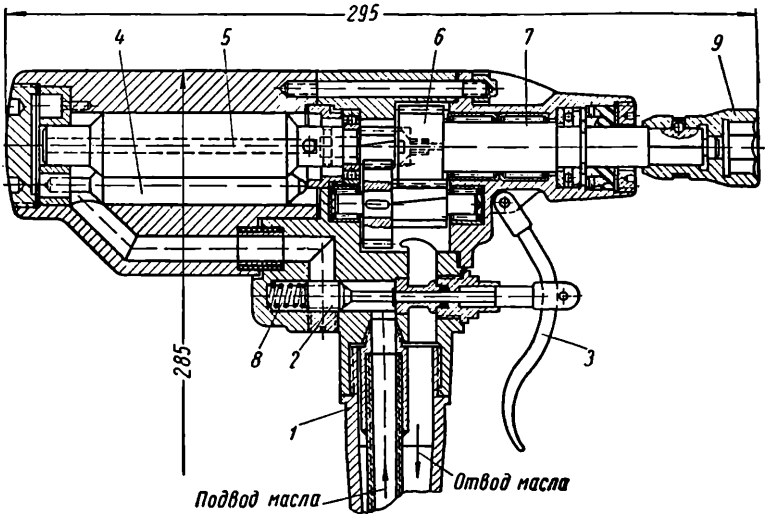
Достоинствами указанного гайковерта являются малый вес, обусловленный отсутствием редуктора, и ликвидация реактивного момента, воспринимаемого в других конструкциях руками рабочего.

Гайковерт предназначен для завинчивания резьбы до 6 *мм*; он работает при давлении сжатого воздуха 5—6 *ат*; число ударов 2500—3000 в минуту. Вес гайковерта около 2 *кг* при габарите 180 × × 219 × 65 *мм*.

На фиг. 144 представлен гидровинтовой гайковерт, предназначенный для завертывания гаек, винтов, болтов и шпилек размером М10—М12, а также для обработки отверстий (сверление, развертывание).



Фиг. 143. Пневматический реверсивный гайковерт ударного действия.



Фиг. 144. Гидровинтовой гайковерт для резьб М10—М12 (конструкция НИИТракторосельхозмаша, тип УГР-10:

1 — рукоятка; *2* — золотник, *3* — пусковая скоба; *4* и *5*—винты гидродвигателя; *6* — ведомое зубчатое колесо редуктора, *7*—шпиндель; *8*—пружина золотника; *9* — сменная торцовая головка.

Масло под давлением подается от насоса по гибкому металлическому рукаву через рукоятку *1* к золотнику *2* и при нажатии пусковой скобы *3* поступает по каналам в корпусе к винтам *4* и *5* (всего винтов три). От вращающегося под давлением масла ведущего винта *5* через редуктор момент передается на шпиндель со сменной торцовой головкой *9*. Масло, пройдя через винты гидродвигателя, теряет давление и идет на слив через редуктор, пустотелую рукоятку и дюритовый наружный шланг.

Величина крутящего момента регулируется изменением давления масла, подаваемого к гайковерту.

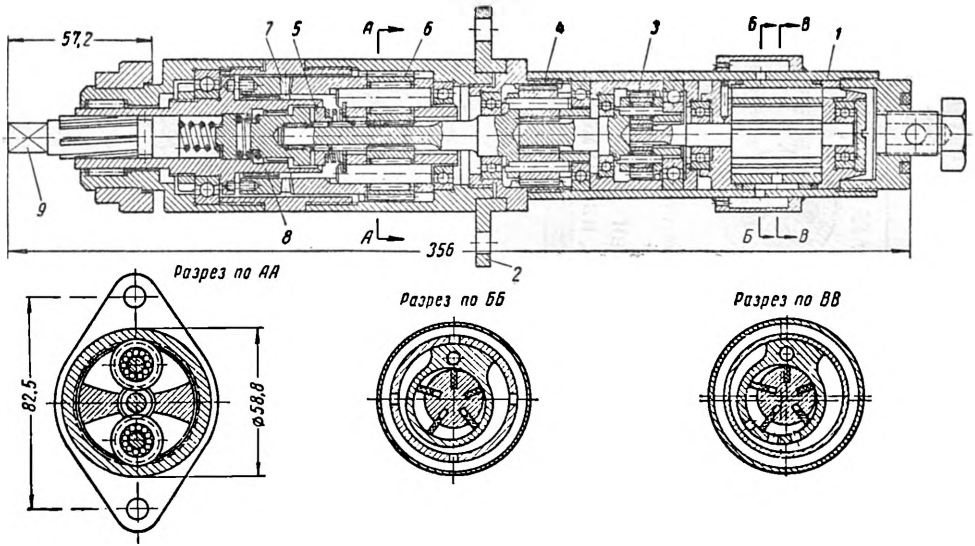
К преимуществам гидравлического гайковерта относится бесшумность работы, высокий к. п. д., доходящий до 0,55—0,65 (вместо 0,07—0,11 и 0,4—0,5 соответственно у пневматических и электрических гайковертов), и малый их вес.

Гайковерт развивает на ключе крутящий момент до 5 *кгм*; число оборотов — до 350 об/мин. Он работает при давлении масла в напорном рукаве до 60 *кг/см*^{2}, в сливном — до 6 *кг/см*^{2}; расход масла до 20 *л/мин*. Вес гайковерта — 2,4 *кг*.

На фиг. 145 изображен пневматический двухскоростной нормализованный узел гайковерта, предназначенный для компоновки различного типа многошпиндельных устройств с минимальным расстоянием между осями завертываемого крепежа 60 *мм*. В зависимости от типа гайковерт позволяет завертывать гайки с диаметром резьбы до М30; при этом он конструктивно выполнен таким образом, что навертывание гаек осуществляется при малом крутящем моменте и высокой скорости и окончательная затяжка при меньшей скорости, но большем моменте. Величина момента регулируется давлением подаваемого к гайковерту сжатого воздуха.

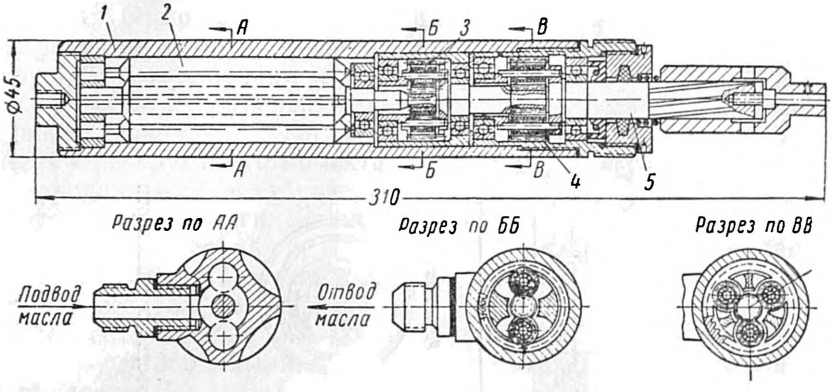
Гайковерт состоит из сборного цилиндрического корпуса *1*, в средней части которого имеется фланец *2* с отверстиями для крепежных болтов. В верхней части корпуса расположен пневматический лопастной двигатель, вращение от которого через редукторы первой ступени *3* и второй ступени *4* и муфту быстрого вращения *5* (при навертывании крепежа) или редуктор *6* и муфту замедленного вращения *7* (при довертывании крепежа) передается на шпиндель *8* и через квадрат *9* для сменного инструмента на торцовый ключ. Свободное навертывание гайки производится через муфту *5*. К концу навертывания гайки, когда сопротивление возрастает, происходит автоматическое переключение на малую скорость, и винтовое соединение дотягивается с заданным моментом через редуктор *6* и муфту *7*. Этот принцип работы обеспечивает повышение производительности и уменьшение расхода сжатого воздуха.

Двухскоростные пневматические гайковерты работают при давлении сжатого воздуха 5—6 *ат* при расходе свободного воздуха 0,736 *м*^{3}*/мин*. Число оборотов при холостом ходе 356, 530 или 840 об/мин; крутящий момент на ключе 19,9; 13,3 и 8,3 *кгм* (в зависимости от типа). Вес гайковерта 4,3 *кг*.



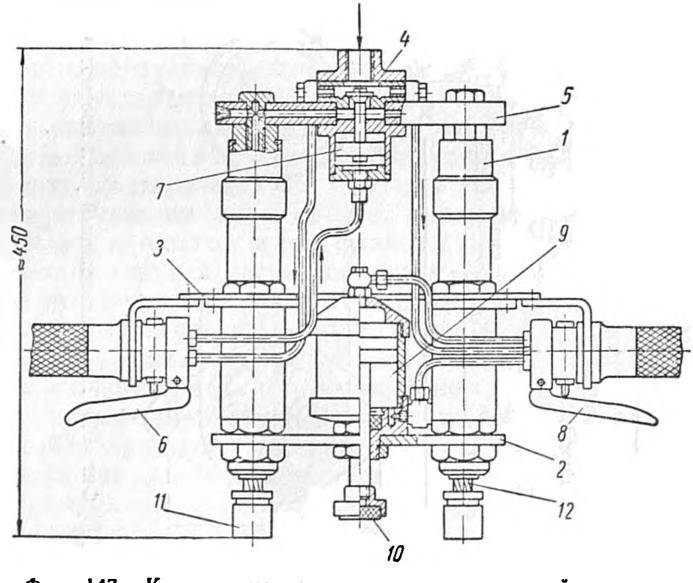
Фиг. 145. Нормализованный узел пневматического двухскоростного гайковерта.

На фиг. 146 изображен гидровинтовой односкоростной нормализованный узел гайковерта. В корпусе *1* смонтирован винтовой гидро-



Фиг. 146. Нормализованный узел гидровинтового односкоростного гайковерта

двигатель *2*, редукторы первой ступени *3* и второй ступени *4*. На шпинделе *5* надет наконечник *6* для инструмента.

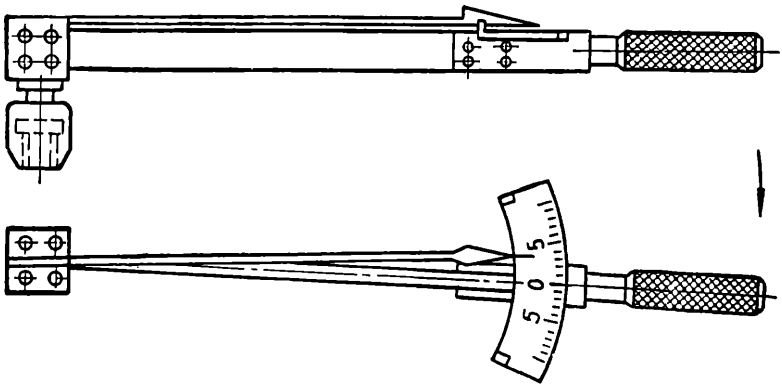


Фиг. 147. Компоновка четырехшпиндельного гайковерта из двухскоростных пневматических нормализованных узлов (конструкции ГАЗ).

Пример компоновки многошпиндельного гайковерта из нормализованных узлов представлен на фиг. 147. Гайковерт данной конструкции собран из двухскоростных узлов пневматического действия

(конструкция подобного нормализованного узла показана на фиг. 145).

Нормализованные узлы *1* в соответствии с расположением гаек на собираемом изделии размещаются и крепятся на основной плите *2* и промежуточной плите *3*. Через фланец *4* сжатый воздух подводится к узлам по каналам в воздухораспределительной плите *5*. Включение гайковерта производится нажатием рукоятки *6*; при этом поршень *7* пускового цилиндра открывает впускной клапан. Рукоятка *8* служит для включения цилиндра *9* съемника *10*, обеспечивающего легкое снятие инструмента с гаек или головок завернутых винтов. Враще-



Фиг. 148. Ключ с динамометром.

ние торцовых ключей *11* передается шпинделями *12*. Для удобства выполнения работы и уменьшения влияния веса механизированного инструмента на утомляемость рабочего, инструмент подвешивают на пружинных блоках. При поточной сборке на непрерывно движущемся конвейере пружинные блоки устанавливаются на тележках, перемещающихся по монорельсам. Для тяжелого инструмента пользуются двумя спаренными блоками.

В тяжелом машиностроении применяются электрические машины тяжелого типа или радиально-сверлильные станки со специальными патронами — торцовыми гаечными ключами.

Применение механизированного инструмента сокращает время, затрачиваемое на выполнение болтовых и винтовых соединений, до 10 раз по сравнению с временем выполнения этих работ вручную.

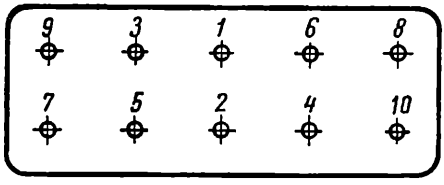
Проверка затяжки болтов, шпилек и винтов, производимая обычным ручным инструментом, дает субъективную оценку, поэтому целесообразно производить проверку затяжки тарированным инструментом или ключами с динамометром (фиг. 148).

Крепление гаек и винтов при сборке должно производиться в определенном порядке, показанном на фиг. 149 и 150. При прямоугольной форме соединяемых поверхностей затягивание винтов и гаек

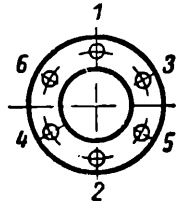
следует начинать от середины, а не с краев, так как отклонение от плоскостности при значительной длине устанавливаемой крышки может вызвать ее искривление. Затяжка гаек и винтов в произвольном порядке также может вызвать коробление или по меньшей мере перекос закрепляемой детали. При этом затяжка гаек должна производиться не только последовательно, но и постепенно, в два-три приема, до полной затяжки.

Применение многошпиндельных гайковертов не только повышает производительность труда, но и обеспечивает равномерность затяжки всех гаек.

Шпоночные соединения осуществляются клиновыми, призматическими и сегментными шпонками. При сборке соединения с клиновой



Фиг. 149. Схема затяжки гаек на прямоугольной головке или крышке; цифры указывают последовательность затяжки.



Фиг. 150. Последовательность затяжки гаек на фланце или круглой крышке.

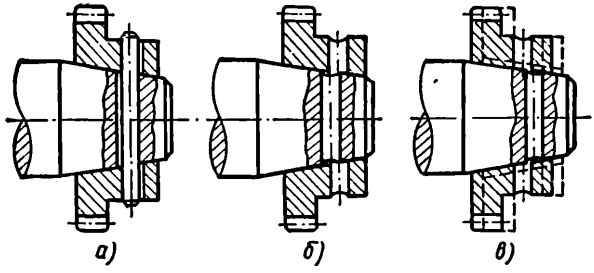
шпонкой ось охватывающей детали смещается относительно оси вала на величину посадочного зазора, что вызывает радиальное биение тем большее, чем больше посадочный зазор. Кроме того, несоответствие уклона дна паза охватывающей детали уклону шпонки ведет к перекосу сажаемой на вал детали.

При соединениях с призматическими или сегментными шпонками сборка шпонки с валом осуществляется с натягом, соответствующим по меньшей мере плотной посадке. Во избежание перекосов шпонки в результате врезания ее кромки в тело вала или кромки шпоночного паза вала в тело шпонки, необходимо особенно тщательно выполнять посадку шпонки в паз вала; целесообразнее всего вводить шпонку в паз под прессом или при помощи струбцины и специальной пластины с мелким пазом, которым она накладывается на шпонку; в этом случае давление передается по оси симметрии шпонки, равномерно распределяясь по всей ее длине. Практикуемая посадка шпонок молотком требует больших производственных навыков, так как неравномерные по силе и внецентренные удары молотка ведут к перекосу шпонки в поперечном и в осевом направлениях.

При посадке на призматическую или сегментную шпонку между верхней плоскостью шпонки и дном паза охватывающей детали должен быть зазор; в этом случае будет обеспечено центрирование охватывающей детали.

Контроль посадки шпонки на перекос и высоту выступающей части, можно производить призмой, центрируемой боковыми гранями выступающей части шпонки, и набором предельных щупов.

Шлицевые соединения (неподвижные), в зависимости от применяемой посадки центрирующих элементов, разделяются на тугоразъемные и легкоразъемные. При тугоразъемных соединениях рекомендуется предварительный подогрев охватывающей детали до температуры 100—120°; в этом случае значительно уменьшается усилие, необходимое для осуществления соединения, что обеспечивает более правильную посадку. При легкоразъемных соединениях посадка охватывающей детали не требует больших усилий. Перед соедине-



Фиг. 151. Посадка на коническую шейку с креплением штифтом.

нием необходимо устранить случайно оставшиеся в соединяемой паре заусенцы и забоины. Шлицевые соединения проверяются на радиальное и осевое биение с установкой вала в центры бабок контрольного приспособления и на качку, т. е. относительное угловое смещение, проверяемое обычно вручную.

Штифтовые соединения осуществляются посредством конических и цилиндрических штифтов.

Штифты применяют не только в качестве соединительного, но также и в виде установочного элемента, координирующего взаимное положение деталей, в которые вставлен штифт.

При выполнении штифтовых соединений с посадкой на конус (фиг. 151, *а*) сверление отверстия под штифт в конической шейке необходимо производить в сборе с охватывающей деталью. Из-за неточностей обработки по диаметру конической шейки вала и конического отверстия, раздельно обработанные в соединяемых деталях отверстия под штифт не совпадут при соединении, и штифт либо не войдет в отверстие (фиг. 151, *б*), либо охватывающая деталь не будет плотно сидеть на конической шейке (фиг. 151, *в*). При таких соединениях целесообразно производить сверление и развертывание отверстия под штифт при сборке; при этом отверстие под штифт в охватывающей детали можно выполнить предварительно в процессе механической обработки.

К неподвижным неразъемным соединениям относятся соединения, выполненные с гарантированным натягом, стяжками, развальцовкой, клепкой, сваркой, пайкой, склеиванием и методом холодной штамповки.

Соединения с гарантированным натягом осуществляются прессовыми посадками или путем теплового воздействия на сопрягаемые детали. Прессовое соединение осуществляется под давлением пресса, когда охватываемая деталь вводится (запрессовывается) в отверстие охватывающей детали или, наоборот, охватывающая деталь насаживается (напрессовывается) своим отверстием на охватываемую деталь. Наличие натяга при осуществлении соединения вызывает упругие и пластические деформации сопрягаемых деталей, в особенности их поверхностных слоев; в результате этих деформаций на поверхности сопряжения возникают значительные нормальные давления.

Сила P_n, которую необходимо приложить для осуществления запрессовки, может быть определена по формуле

$$P_n = f_n p \pi dl \ кг, \tag{103}$$

где f_n — коэффициент запрессовки, т. е. коэффициент трения (сцепления) при запрессовке;

p — удельное давление на сопрягаемых поверхностях в $кг/мм^2$;

d — номинальный диаметр соединения в $мм$;

l — длина посадочных поверхностей в $мм$.

Коэффициент запрессовки выбирается в зависимости от материала сопрягаемых деталей, чистоты обработанных поверхностей, наличия смазки и удельного давления на сопрягаемых поверхностях. Величина коэффициента запрессовки возрастает с улучшением чистоты посадочных поверхностей, достигая определенного оптимума, затем начинает снижаться, несмотря на дальнейшее улучшение чистоты; это снижение зависит от удельного давления и по мере роста удельного давления идет сначала резко, а затем замедленно; при этом резкое уменьшение величины коэффициента запрессовки по мере роста удельного давления наблюдается у сопряжений с более чистыми посадочными поверхностями [64].

При выборе коэффициента запрессовки f_n (коэффициента трения) можно пользоваться следующими данными [68]: для случая, когда вал и втулка изготовлены из стали 30—50 (со смазкой машинным маслом) $f_n = 0{,}06 \div 0{,}22$, из чугуна СЧ 28-48 $f_n = 0{,}06 \div 0{,}14$, из магниевоалюминиевых сплавов $f_n = 0{,}02 \div 0{,}08$, из латуни $f_n = 0{,}05 \div 0{,}10$, из пластмассы $f_n = 0{,}54$.

Принимая:

D — наружный диаметр втулки (ступицы) в $мм$,

d_0 — диаметр отверстия пустотелого вала в $мм$,

i — натяг посадки в $мм$,

E_A — модуль упругости материала втулки в $кг/мм^2$,

E_B — модуль упругости материала вала в *кг/мм*^{2}, значение p определяем по формуле

$$p = \frac{1}{d} \cdot \frac{i}{\left(\frac{C_A}{E_A} + \frac{C_B}{E_B}\right)}; \qquad (104)$$

при этом

$$C_A = \frac{D^2 + d^2}{D^2 - d^2} + \mu_A = \frac{\left(\frac{D}{d}\right)^2 + 1}{\left(\frac{D}{d}\right)^2 - 1} + \mu_A;$$

$$C_B = \frac{d^2 + d_o^2}{d^2 - d_o^2} - \mu_B = \frac{1 + \left(\frac{d_o}{d}\right)}{1 - \left(\frac{d_o}{d}\right)^2} - \mu_B,$$

где μ_A и μ_B — коэффициенты Пуассона для материалов охватывающей и охватываемой детали (для стали $\mu = 0{,}3$; для чугуна $\mu = 0{,}25$).

Наибольший натяг i_{max} определяется по формуле

$$i_{max} = (d_{B_{max}} - d_{A_{min}}) - (H_B + H_A)\,10^{-3}, \qquad (105)$$

где $d_{B_{max}}$ — наибольший предельный диаметральный размер вала в *мм*;

$d_{A_{min}}$ — наименьший предельный диаметральный размер отверстия в *мм*;

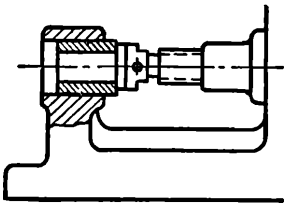
H_B и H_A — высота ($H_{ср}$) поверхностных микронеровностей вала и отверстия в *мк*.

При запрессовке важную роль играет форма кромок сопрягаемых поверхностей. Кромка вала должна иметь коническую фаску с углом конуса $\alpha \approx 10 \div 15°$ и не более 20°, так как при увеличении угла конуса повышается значение $P_п$. Кромка охватывающей детали должна иметь фаску, наложенную под углом 45—30° (угол конуса 90—60°); эта фаска облегчает центрирование при запрессовке и предохраняет от случайных местных заеданий.

В тех случаях, когда конфигурация и размеры базовой детали не позволяют установить ее на стол пресса, применяют запрессовку домкратом (фиг. 152), струбциной или посредством груза, опускаемого краном. В ряде случаев применяют переносные прессы и различного типа скобы. На фиг. 153 приведена скоба с гидравлическим цилиндром для запрессовки штифтов и тому подобных деталей.

При нажатии на кнопочный выключатель *1*, расположенный в ручке *2*, сжатый воздух поступает через редуктор к усилителю (фиг. 154) и вытесняет из него масло, которое по трубопроводу подается в цилиндр *3*. Шток цилиндра, перемещаясь влево, запрессо-

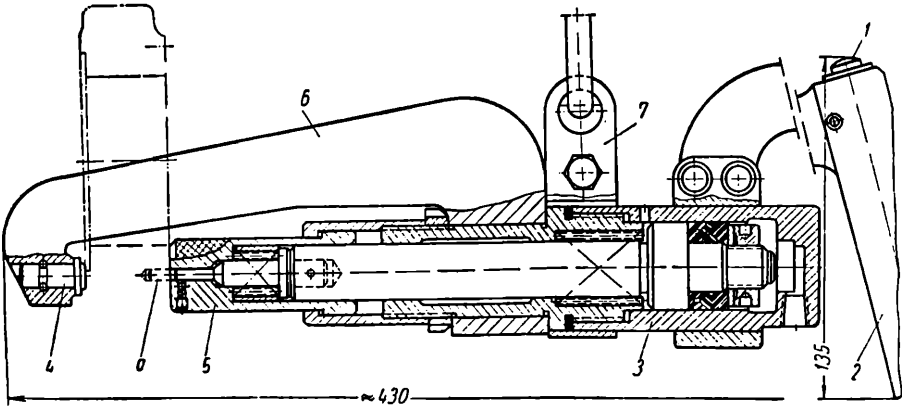
вывает штифт *а* в отверстие детали, располагаемое между пальцем *4* и оправкой *5*. Усилие при запрессовке воспринимается скобой *6*. Ушко *7* служит для подвешивания скобы на рабочем месте. Вся установка (фиг. 154) включает: усилитель *1*, шланг *2*, редуктор *3* и подвеску *4*, присоединяемую к ушку скобы *5*.



Фиг. 152. Запрессовка домкратом.

В целях получения качественной прессовой посадки, применяют приспособления. В частности, при посадке диска на длинный вал, во избежание искривления вала при запрессовке, применяют приспособление, показанное на фиг. 155. *

Посадки путем теплового воздействия на сопрягаемые детали применяют главным образом для тяжело нагруженных элементов машин, так как прочность посадки, достигаемая этим методом, в 2—3 раза больше прочности обычных прессовых посадок, в связи с тем что в этом случае сглаживание микронеровностей не имеет места, а происходит их сцеп-

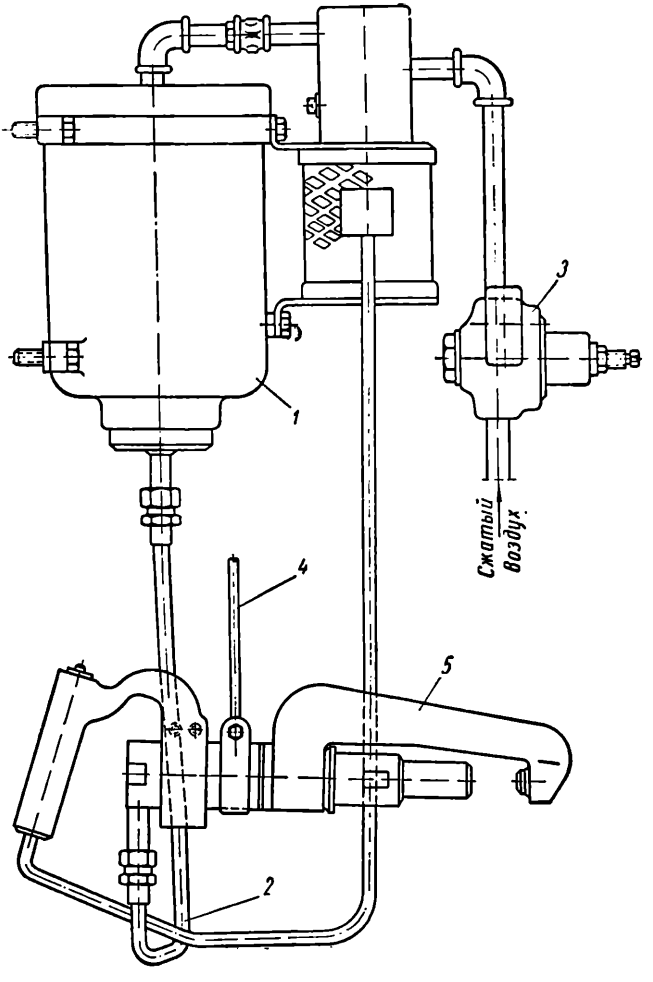


Фиг. 153. Скоба с гидравлическим цилиндром для запрессовки штифтов (конструкция ГАЗ).

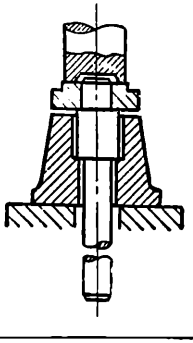
ление. Целесообразно применять также тепловые посадки при больших диаметрах и незначительной длине сопряжения (для бандажных колец, зубчатых венцов и т. п.), когда при посадке под прессом могут возникнуть перекосы. Температура нагрева колеблется в широких пределах 75—450°, в зависимости от требуемой величины натяга. Температуру нагрева можно определить исходя из зависимости

$$\Delta d_A = \alpha \Delta t d_A,$$

* Сборочные приспособления рассматриваются в курсе «Основы конструирования приспособлений», поэтому ограничимся здесь лишь упоминанием о применении приспособлений при запрессовке.



Фиг. 154. Схема установки для запрессовки штифтов скобой с гидравлическим цилиндром, показанной на фиг. 153.



Фиг. 155. Приспособление для запрессовки диска на длинный вал.

откуда

$$\Delta t = \frac{\Delta d_A}{\alpha d_A},$$

где Δd_A — приращение размера отверстия охватывающей детали;
α — коэффициент линейного расширения;
Δt — приращение температуры, т. е. разность конечной температуры нагрева и начальной температуры детали;
d_A — начальный диаметр отверстия охватывающей детали.

Для свободной посадки охватывающей детали на охватываемую деталь приращение размера отверстия Δd_A должно быть несколько больше натяга i, т. е. $\Delta d_A > i$ или $i < \Delta d_A$.

Подставляя вместо Δd_A значение i, получаем $i < \alpha \Delta t d_A$, откуда $\Delta t > \frac{i}{\alpha d_A}$.

Учитывая, что Δt является разностью конечной температуры нагрева $t_к$ и начальной температуры детали $t_д$, имеем

$$\Delta t = t_к - t_д$$

и, следовательно,

$$t_к - t_д > \frac{i}{\alpha d_A}$$

или

$$t_к > \frac{i}{\alpha d_A} + t_д.$$

Натяг в этом случае определяется как разность диаметральных размеров вала и отверстия, потому что при этом методе посадки сглаживание микронеровностей, как было уже сказано, не имеет места, а измерение вала и отверстия производится фактически по вершинам микронеровностей; следовательно,

$$i = d_B - d_A.$$

Необходимо также особо учесть коэффициент K потери тепла при осуществлении посадки; коэффициент K зависит от удобства выполнения соединения и конструктивных особенностей охватывающей детали.

Таким образом, окончательно имеем

$$t_к > \left(\frac{d_B - d_A}{\alpha d_A} + t_д\right) K. \qquad (106)$$

При расчете температуры нагрева можно принимать следующие значения коэффициента линейного расширения α:

Сталь и чугун	$11{,}5 \cdot 10^{-6}$
медь	$16{,}5 \cdot 10^{-6}$
бронза	$17{,}5 \cdot 10^{-6}$
латунь	$18{,}5 \cdot 10^{-6}$
магниевые и алюминиевые сплавы	$24 \cdot 10^{-6}$

Значение $t_д$ принимают в зависимости от температуры воздуха в цехе.

Значение коэффициента K колеблется в зависимости от указанных раньше факторов в пределах 1,2—1,6.

Нагрев деталей производится в водяной или масляной ванне газовыми горелками, индукционными токами и электронагревателями. В частности, нагревание производят переносными электроспиралями, которые устанавливаются в отверстие с зазорами 20—40 *мм*. Нагревание крупногабаритных деталей требует длительного времени и в ряде случаев связано с большими затруднениями; в этих случаях вместо нагревания охватывающих деталей применяют охлаждение охватываемых деталей.

Охлаждение производят в спирте или ацетоне, предварительно остуженных твердой углекислотой (сухим льдом); при этом деталь может быть охлаждена до —75°. Пользуясь аммиачным рефрижератором, можно охладить деталь до —120° Применяя жидкий воздух, кислород или азот, можно довести температуру деталей до —180° и —190°

Охлаждение производят в специальных холодильниках, погружая охлаждаемую деталь непосредственно в охлаждающую жидкость или во внутренний цилиндр, помещенный в охлаждающую жидкость.

Рабочие, выполняющие соединения деталей путем охлаждения в сжиженных газах, должны быть проинструктированы о правилах выполнения работ, осведомлены о вредности влияния охлаждающей среды на кожу человека и об опасностях взрыва при плотном закрывании сосудов, в которых находятся сжиженные газы, а также о взрывчатых свойствах, приобретаемых тканью, пропитанной жидким кислородом.

Сборка путем охлаждения охватываемой детали протекает значительно быстрее сборки путем нагревания охватывающей детали.

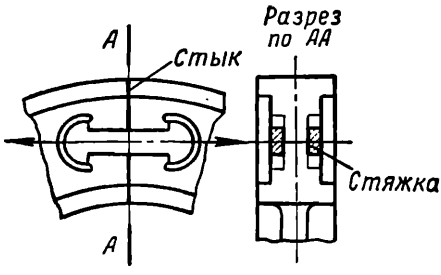
Расчет температуры охлаждения производится по той же формуле (106). При этом $t_к$ получает отрицательное значение, поскольку коэффициент линейного расширения α при охлаждении является отрицательной величиной. Необходимо также иметь в виду, что значения коэффициента α при охлаждении меньше его значений при нагревании. В частности, коэффициент α имеет следующие значения при охлаждении:

Материал	α
сталь и чугун	$-8{,}5\cdot10^{-6}$
медь	$-14\cdot10^{-6}$
бронза	$-15\cdot10^{-6}$
латунь	$-16\cdot10^{-6}$
магниевые и алюминиевые сплавы	$-21\cdot10^{-6}$

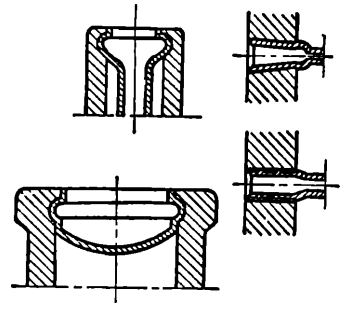
В тех случаях, когда требуемый натяг превышает усадку при охлаждении охватываемой детали, производят дополнительно нагрев охватывающей детали. Этот комбинированный метод посадки путем

теплового воздействия на обе сопрягаемые детали может оказаться целесообразным в ряде случаев.

Соединение двух или, реже, нескольких деталей, имеющих поверхностью контакта плоскость, может быть осуществлено посредством стяжек, т. е. дополнительных деталей — планок (фиг. 156) или колец, используемых в качестве стягивающих элементов.



Фиг. 156. Соединение стяжками в форме планок.



Фиг. 157. Типовые соединения, осуществляемые развальцовкой

Соединение осуществляется путем посадки стягивающих элементов в нагретом состоянии. Температура нагрева определяется по формуле (106):

а) для планок

$$t_к > \left(\frac{L_д - L_п}{\alpha L_п} + t_д\right) K,$$

где $L_д$ — размер между выступами соединяемых деталей;

$L_п$ — размер между выступами планки;

б) для колец

$$t_к > \left(\frac{D_д - D_к}{\alpha D_к} + t_д\right) K,$$

где $D_д$ — диаметр кольцевого выступа соединяемых деталей;

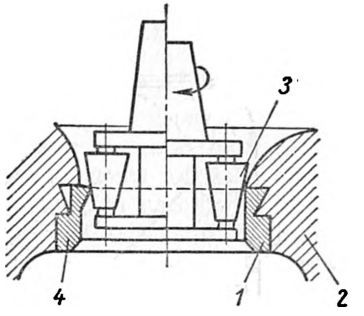
$D_к$ — диаметр стягивающего кольца;

размеры $L_п$ и $D_к$ определяются в зависимости от требуемого натяга.

Развальцовка применяется при сборке герметических соединений, осуществляемых обычно путем увеличения диаметрального размера охватываемой детали за счет давления, создаваемого специальным инструментом — вальцовкой. На фиг. 157 показаны некоторые типовые соединения, осуществляемые развальцовкой. На фиг. 158 дана схема развальцовки клапанного седла, а на фиг. 159 показана планетарная вальцовка.

Клепка применяется при сборке некоторых конструкций, подверженных действию высоких температур и коррозии, а также работающих под интенсивным действием ударных и вибрационных нагрузок. С развитием технологии сварочного производства применение заклепочных соединений постепенно сокращается.

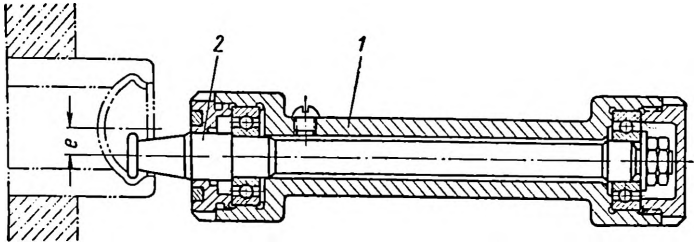
Перед клепкой производится предварительная сборка соединяемых деталей, заключающаяся в совмещении отверстий в смежных деталях и скреплении их между собой сборочными болтами и оправками. Для равномерного уменьшения влияния ошибок в расположении отверстий в соединяемых деталях соединение их болтами производят от середины к краям соединяемых элементов. Сборочными болтами соединяют 25—30% отверстий. В целях предотвращения сдвигов в часть отверстий, составляющую 20—25% числа отверстий, соединенных сборочными болтами, забивают конусные оправки. Совместив таким образом отверстия соединяемых деталей, проверив их калибром и произведя при необходимости совместную обработку их осевым инструментом, приступают к клепке.



Фиг. 158. Схема развальцовки клапанного седла:

1 — элемент седла в конце вальцовки; *2* — базовая деталь; *3* — конические вальцовочные ролики; *4* — отгибаемый элемент седла в начале вальцовки.

Механизация клепки осуществляется применением пневматических или электрических клепальных молотков, клепальных прессов и клепальных машин. На фиг. 160 показан переносный гидравлический пресс-клещи для склепывания дюралюминиевыми заклепками.

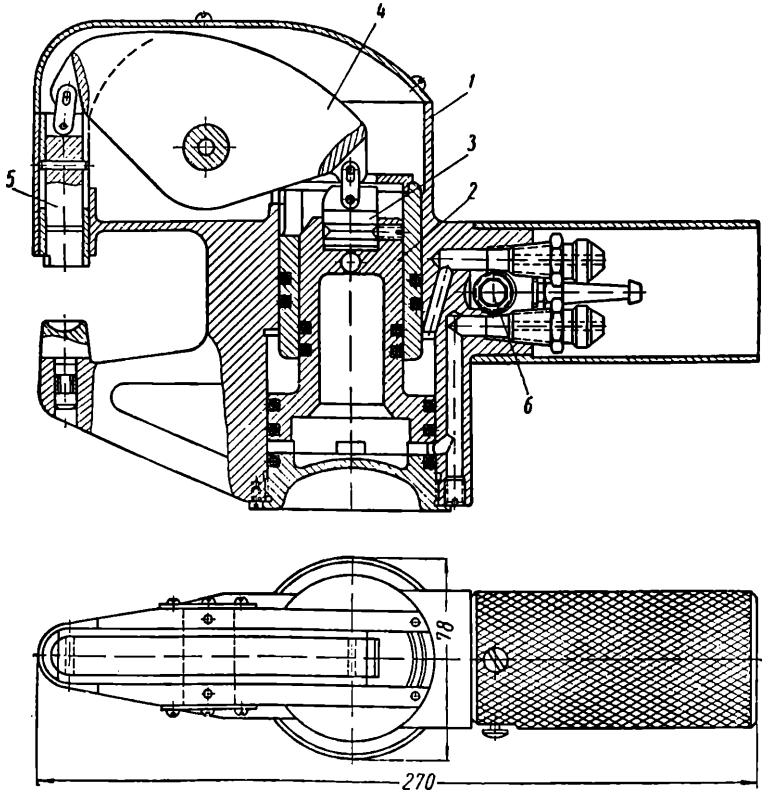


Фиг. 159 Планетарная вальцовка.

1 — корпус, которому сообщается планетарное движение по окружности радиуса *e*; *2* — развальцовочный стержень.

При помощи этого пресса можно выполнять клепку в условиях затрудненного подхода к заклепочному соединению и повысить производительность труда до 5 раз по сравнению с клепкой универсальными пневмомолотками. На прессе можно производить клепку пакетов различной толщины (до 15 *мм*) без переналадки. Работает пресс от пневмогидравлического мультипликатора типа ПТА-8, преобразующего давление воздуха (4—5 *ат*) в давление 300 *ат*, необходимое для работы пресса.

В корпусе *1* пресса имеются каналы, по которым масло подается в цилиндр, вследствие чего поршень *2* перемещается вверх. Через опору *3* поршень поворачивает рычаг *4*; при этом происходит рабочий ход плунжера *5*. Обратный ход плунжера происходит при подаче масла в другую полость цилиндра. Пуск производится включением кнопки *6*.



Фиг. 160. Переносный гидравлический пресс-клещи для склепывания узлов из тонколистового материала:

1 — корпус пресса; *2* — поршень; *3* — опора; *4* — рычаг; *5* — плунжер; *6* — пусковая кнопка.

Пресс весит 8,5 *кг*, делает 320 рабочих ходов в минуту; наибольшая сила прессования 9000 *кг*; вылет скобы 55 *мм*.

Сварка находит все более широкое применение в современном машиностроении.

Сварка дает весьма значительную экономию на материале, а в ряде случаев и на трудоемкости изготовления узлов и изделий.

Специальные электросварочные машины включаются обычно в общий поток обработки деталей в механосборочном цехе.

Электродуговая автоматическая и полуавтоматическая сварка получила в нашей промышленности широкое применение. Перспективной для соединения металла большой толщины (60—250 *мм* и более) является вертикальная электрошлаковая сварка. Электродуговая ручная сварка применяется для коротких швов, где использование автоматической сварки неэкономично, а также в конструкциях индивидуального назначения.

Контактная стыковая электросварка применяется для соединения деталей из разнородных металлов и сплавов (например, жаростойкой стали с поделочной сталью при изготовлении клапанов двигателей), для изготовления деталей замкнутого контура (ободьев колес, венцов зубчатых колес и т. п.), для изготовления сложных узлов из простых элементов (например, прокатного профиля и поковок), для удлинения конструктивных элементов (например, трубчатых змеевиков в котлостроении).

Контактная точечная сварка применяется для соединения внахлестку листов и профилей из стали и цветных металлов, для изготовления штампо-сварных узлов и каркасных конструкций с листовыми обшивками.

Контактная рельефная и Т-образная сварка применяется для мелких деталей из низкоуглеродистой стали и, в частности, широко применяется в автомобилестроении. Контактная роликовая сварка применяется при изготовлении бачков, металлической тары и т. п.

Газовая сварка характеризуется универсальностью, т. е. возможностью выполнять различные работы на одном комплекте несложного оборудования и ее преимуществами при сварке чугуна и цветных металлов. Газопрессовая сварка применяется для сварки как трубопроводов, так и узлов из деталей сплошного сечения.

П а й к а металлов является процессом соединения, при котором в зазор между нагретыми соединяемыми элементами, остающимися в твердом состоянии, вводится расплавленный припой, смачивающий их поверхности и скрепляющий соединяемые элементы после охлаждения и затвердевания. Введение в зазор между соединяемыми деталями припоя паяльником — малопроизводительный метод пайки.

В целях повышения производительности труда при пайке применяются специальные печи. Сущность процесса в этом случае заключается в том, что предварительно очищенные соединяемые детали собирают таким образом, чтобы у места соединения можно было поместить припой в виде проволочного контура, фольги, пасты, электролитического покрытия и т. п. Собранный узел помещают в электрическую печь, где он нагревается до температуры плавления припоя, которая должна быть ниже температуры плавления металла собираемых деталей. Расплавленный припой, благодаря хорошему смачиванию им при температуре плавления поверхностей собираемых деталей и вследствие явления капиллярности, проникает в соединительный шов и образует сплав, обладающий после затвердевания прочностью более высокой, чем прочность припоя. Например, при пайке

стальных деталей медью имеем прочность меди на срез 14 *кг/мм*^{2}, прочность стали на срез 23 *кг/мм*^{2}, прочность шва на срез 20 *кг/мм*^{2}.

Печи для пайки имеют нагревательную и охладительную камеры. Процесс протекает в условиях нейтральной атмосферы, предохраняющей от образования окислов на поверхностях соединяемых деталей, что обеспечивает лучшее их смачивание расплавленным припоем. Применяют печи камерные, конвейерные и механизированные с роликовым подом. Для описанного процесса пайки применяют обычно электропечи [63].

Высокую производительность и хорошее качество дает пайка погружением в ванны. При такой пайке ванну загружают припоем и окунают в нее собранный узел, покрытый в месте спая флюсом. После выдержки в ванне в течение 5—20 сек. узел вынимают и дают стечь избытку припоя. Таким же способом производят пайку медноцинковым припоем (например, велосипедных рам). При этом в ванне на поверхности металла держат слой расплавленного флюса. Места, не требующие пайки, покрывают защитным покрытием — графитом.

При твердой пайке применяют соляные ванны из смеси расплавленных хлористого калия и хлористого бария. Подвергающиеся пайке узлы с прокладками припоя окунают в ванну. Расплавленная соль растворяет окислы, способствует смачиванию расплавляющимся припоем мест соединений и после пайки защищает вынутый из ванны узел от окисления на воздухе. Для этой цели можно пользоваться соляными печами, применяемыми для термообработки, С-35 или С-75, производительность которых соответственно 40 и 70 *кг* спаянных узлов в час [69].

Процессы пайки могут быть механизированы с помощью устройств для погружения и выдержки в ваннах собранных для пайки узлов, путем применения конвейерных устройств, проходящих с подготовленными для пайки узлами между витками индуктора (при использовании индукционного нагрева) и т. п. Применяются также узко специализированные по роду изделий машины для пайки. Например, машины для производства металлической тары автоматически выполняют все операции ее изготовления из металлической ленты, включая пайку швов.

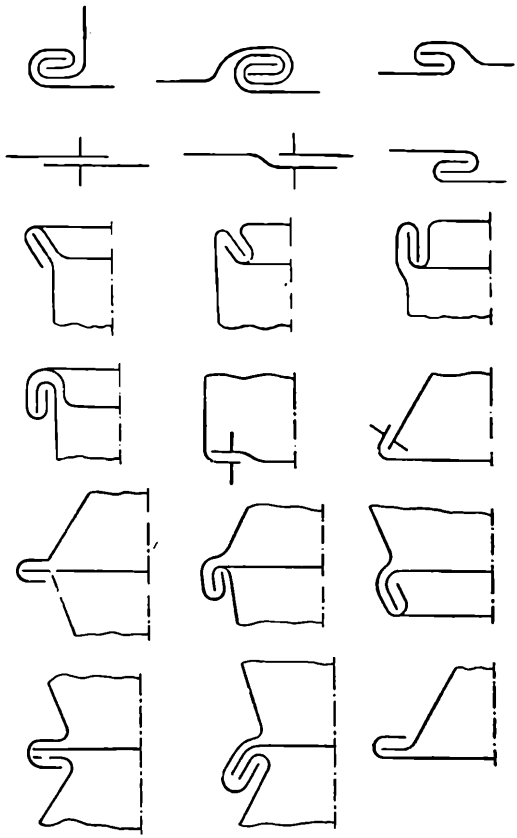
Склеивание карбинольным клеем применяется в некоторых случаях при выполнении неподвижных соединений.

Карбинольный клей может применяться для склеивания металлов, пластических масс, стекла, фарфора, мрамора, слюды, эбонита, фибры и их сочетаний. При температурах ниже 60° соединения, собранные на карбинольном клее, обеспечивают достаточную прочность (предел прочности 230—240 *кг/см*^{2}). При температурах выше 60° прочность соединений на карбинольном клее снижается; при температуре выше 70° карбинольный клей начинает размягчаться; нагревание до температуры 90—95° в течение 9 час. уменьшает сопротивление склейки сдвигу в 1,5—2 раза. Это свойство карбинольного клея ограничивает область его применения.

Карбинольный клей приготовляется непосредственно перед употреблением. Время выдержки клея от момента введения катализатора до начала склеивания колеблется в пределах 30—60 мин., в зависимости от вязкости карбинольного сиропа, из которого приготовляют клей. В качестве катализатора применяют 2—3%-ную перекись бензоила.

Карбинольный клей наносят стеклянной палочкой на склеиваемые поверхности, которые затем соединяют, проверяют взаимное положение собранных элементов контрольными инструментами или приспособлениями и в зафиксированном состоянии сушат в течение 1—4 суток. Соединяемые поверхности должны быть хорошо очищены, обезжирены и просушены. При склеивании поверхностей высокой чистоты рекомендуется увеличить их шероховатость абразивной шкуркой или напильником и тщательно протереть ацетоном.

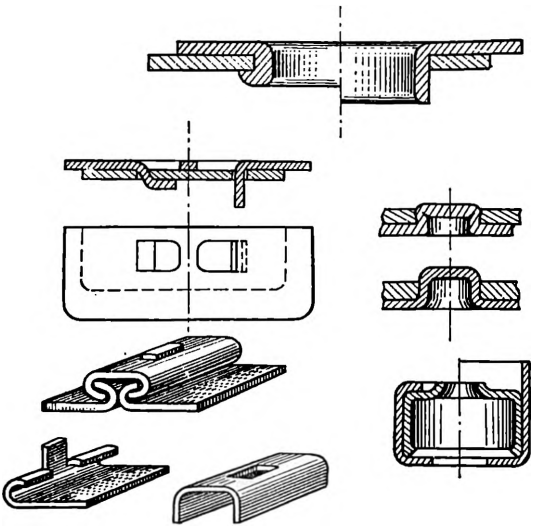
Практически склеивание карбинольным клеем получило применение в производстве калибров и других измерительных инструментов, в некоторых отраслях приборостроения и весьма ограниченное применение в машиностроении.



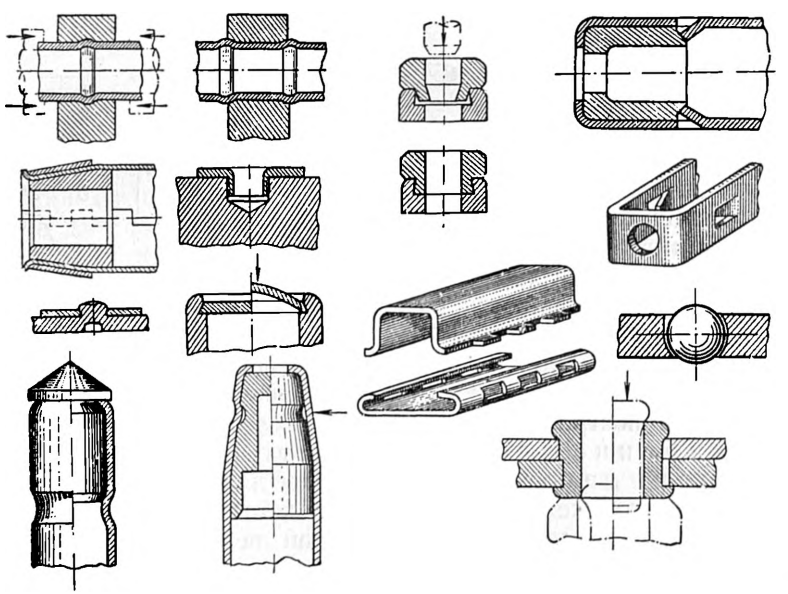
Фиг. 161. Схемы листовых прямолинейных и кольцевых швов (замков).

Соединение деталей методами холодной штамповки применяется не только для листоштампованных элементов, но также и в сочетании с деталями, изготовленными другими методами, например обработкой резанием или объемной штамповкой.

На фиг. 161 даны схемы листовых прямолинейных и кольцевых швов (замков); одни варианты швов предусматривают только герметичность, другие сочетают герметичность, прочность и жесткость соединения; в некоторых соединениях предусматривается точечная сварка или склепывание. На фиг. 162 показаны приемы соединения

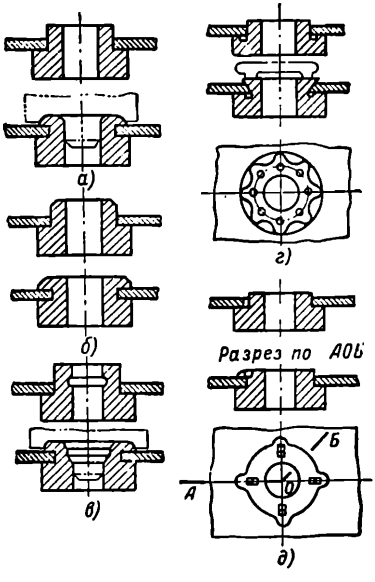


Фиг. 162. Схемы соединения листовых деталей путем гибки, отбортовки и формовки.

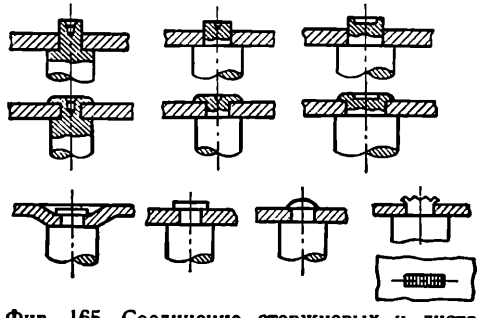


Фиг. 163. Примеры соединения листовых деталей с деталями, обработанными на металлорежущих станках

листовых деталей путем гибки, отбортовки и формовки. На фиг. 163 показаны соединения деталей, штампованных из листа, с деталями, обработанными на металлорежущих станках. На фиг. 164 показано соединение втулок, обработанных на металлорежущих станках, с листовыми деталями, с деформированием материала как по всему сопрягаемому контуру, так и частично (соединения *г* и *д*). На фиг. 165 даны примеры соединений стержневых деталей с листовыми деталями.



Фиг. 164. Соединения втулок, обработанных на металлорежущих станках, с листовыми деталями.



Фиг. 165. Соединение стержневых и листовых деталей.

Сборка подвижных разъемных и неразъемных соединений

Подвижные соединения осуществляются посредством свободных посадок скольжения, движения, ходовой, легкоходовой и широкоходовой; при этом наименьший зазор, равный нулю, дает скользящая посадка при сочетании отверстия, выполненного по наименьшему предельному размеру, и вала, выполненного по наибольшему предельному размеру.

Зазоры, обеспечивающие подвижность соединения, и другие технические требования устанавливаются при конструктивной разработке узлов и механизмов. Задачей технолога является такое построение технологических процессов, которое обеспечит соблюдение установленных рабочими чертежами допусков на размеры, погрешности формы и пространственные отклонения. Следует, в частности, учитывать, что пригонка должна обеспечить не только заданную посадку, но и точность формы в пределах установленного допуска. Вместе с тем, например, при шабрении вкладышей подшипников скольжения легко нарушить цилиндричность отверстия, являющуюся одним из необходимых условий нормальной работы подшипников, так как в противном случае условие жидкостного трения в сочленении вала с вкладышем будет нарушено, что поведет к ускоренному износу сопряженных деталей.

Подвижные неразъемные соединения имеют ограниченное применение. Примером подвижных неразъемных соединений являются неразъемные подшипники качения.

Особенности сборки деталей из пластмасс. Разъемные соединения деталей из пластмасс не отличаются существенно от соединений металлических деталей, однако при сборке деталей из пластмасс необходимо соблюдать следующие правила:

между металлическими болтами и отверстиями в деталях из пластмасс предусматривать зазоры с учетом разницы в коэффициентах линейного расширения материалов болта и детали;

болты и винты завинчивать тарированными ключами и отвертками, исключающими приложение давления, превышающего предел прочности пластмассы; под головки болтов и винтов и под гайки обязательно ставить металлические шайбы;

при посадке деталей из пластмасс на металлические стержни применять деревянные молотки (киянки) и не допускать тугой посадки; там, где требуется тугая посадка, рекомендуется заменять ее резьбовым соединением.

Неразъемные соединения деталей из пластмасс осуществляют клепкой, сваркой и склеиванием.

Клепка может быть применена для листовой дельта-древесины, стеклотекстолита, текстолита и фибры. При клепке следует ставить шайбы под головки заклепок.

Сварку можно применять для органического стекла и винипласта. Сварка органического стекла основана на сплавлении соединяемых поверхностей и производится без присадки, применение которой, вообще говоря, не исключается.

Свариваемые детали предварительно обрабатывают «на ус» фрезерованием и протирают по месту сварки дихлорэтаном (бесцветная жидкость, хорошо растворяющая жиры и смолы). После этого через 5—10 мин. заготовки скрепляют по месту соединения и помещают под пресс между стальными гладкими прокладками, предварительно нагретыми до 60—80°. Затем производят постепенное смыкание плит пресса и посредством электронагревателей поднимают температуру до 125—135° Выдержка при этой температуре и удельном давлении 5—10 *кг/см*^{2} продолжается 8—10 мин., из расчета примерно 1 мин. на 1 *мм* толщины материала. После выдержки производят охлаждение водой, пропускаемой по трубкам, до 30—40°, не изменяя давления пресса, которое снимается после охлаждения.

Сварной шов должен быть прозрачен по всей поверхности соединения. При наличии непрозрачных мест сварку повторяют.

Сварка винипласта производится проволокой из слабо пластифицированного полихлорвинила диаметром 2—3,5 *мм*. Расплавление материала по месту сварки производится воздухом, проходящим через сварочный пистолет с электронагревателем мощностью 300—400 *вт* (при напряжении 24—65 *в*), в котором воздух нагревается до 200—225° Давление воздуха при сварке 0,5 *атм* при расходе

приблизительно 900 *л/час*. Сварочная проволока подается перпендикулярно шву под небольшим давлением от руки сварщика. Прочность сварного шва составляет 0,6—0,8 от прочности свариваемого материала.

Склеивание является основным способом соединения пластмасс между собой и с металлом. Клеевое соединение прочнее и экономичнее соединения на заклепках. Поверхности, предназначенные к склеиванию, должны быть шероховатыми и очищенными от загрязнений, в особенности от жира.

Для склеивания металлов с пластмассами применяют универсальные клеи БФ-2 и БФ-4, представляющие собой растворы специальных смол, а также карбинольный клей. Для склеивания слоистых пластиков применяются также смоляные клеи ВИАМ-БЗ и др., не требующие высокой температуры. Склеивание клеями БФ-2 и БФ-4 производится при температуре 140—150°, давлении 5—10 *кг/см*^{2} и времени выдержки 30—60 мин., карбинольным клеем — при температуре 20—45°, давлении 0,2—5 *кг/см*^{2}, в зависимости от толщины склеиваемых материалов, и времени выдержки 12—24 часа.

ГЛАВА IV

РАСЧЕТ ПРИПУСКОВ НА ОБРАБОТКУ И ПРОМЕЖУТОЧНЫХ РАЗМЕРОВ ЗАГОТОВОК

§ 1. РАСЧЕТ ПРИПУСКОВ ПРИ ОБРАБОТКЕ СПОСОБОМ АВТОМАТИЧЕСКОГО ПОЛУЧЕНИЯ РАЗМЕРОВ

Понятие о припуске на обработку. Технико-экономическое значение величин припусков. Промежуточные и общие припуски на обработку. Симметричные и асимметричные припуски. Опытно-статистический и расчетно-аналитический методы определения припусков на обработку. Факторы, определяющие величину минимального припуска Расчетные формулы для определения припусков на обработку. Расчет промежуточных размеров по технологическим переходам.

Механической обработкой черных заготовок последовательно, за ряд переходов, достигают соответствия форм, размеров и качества поверхностей детали чертежу в пределах установленных им отклонений.

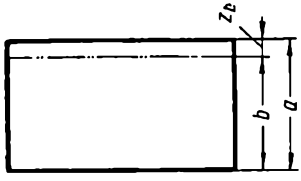
При этом на каждом переходе с обрабатываемой поверхности снимается в виде стружки слой металла, в результате чего изменяется размер заготовки. Удаляемый в процессе обработки слой металла называют *припуском на обработку*.

Преувеличенные припуски на обработку ведут в некоторых случаях к удалению наиболее износоустойчивых поверхностных слоев обрабатываемой детали. Вместе с тем преувеличенные припуски вызывают необходимость введения дополнительных технологических переходов, увеличивают трудоемкость процессов обработки, затраты металла, силовой электроэнергии, рабочего инструмента и тем самым приводят к повышению себестоимости деталей.

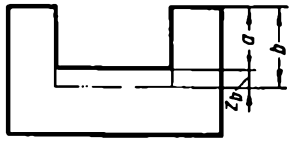
Уменьшение припусков на обработку является одним из средств экономии металла и снижения трудоемкости процессов механической обработки. Однако недостаточные припуски на обработку не обеспечивают возможности удаления дефектных поверхностных слоев металла и получения требуемой точности и чистоты обработанных поверхностей, а в ряде случаев создают неприемлемые технологические условия для работы режущего инструмента в зоне твердой корки или окалины. В результате недостаточных припусков возрастает брак, что, естественно, повышает себестоимость выпускаемой продукции.

Слишком широкие допуски на размеры заготовок осложняют выполнение технологических операций механической обработки на предварительно настроенных станках, вынуждая прибегать к сортировке обрабатываемых заготовок по размерам, и снижают точность обработки в приспособлениях.

Установление оптимальных величин, припусков на обработку и технологических допусков на размеры заготовок по всем переходам является одной из основных задач, правильное решение которой имеет весьма существенное технико-экономическое значение.



Фиг. 166. Припуск на обработку наружной поверхности



Фиг 167 Припуск на обработку внутренней поверхности.

Различают промежуточные и общие припуски на обработку.

Промежуточным припуском называют слой материала, необходимый для осуществления технологического перехода. Промежуточный припуск определяется разностью размеров, получаемых на смежных предшествующем и выполняемом переходах технологического процесса обработки данной элементарной поверхности.

Для внешних поверхностей детали (фиг. 166)

$$a - b = z_b; \tag{107}$$

для внутренних поверхностей детали (фиг. 167)

$$a - b = -z_b;$$

меняя в последнем случае знаки на обратные, имеем

$$b - a = z_b, \tag{108}$$

где z_b — припуск на выполняемый переход;

a — размер, полученный на смежном предшествующем технологическом переходе;

b — размер, получаемый на выполняемом технологическом переходе.

Общим припуском называют слой материала, необходимый для выполнения всей совокупности технологических переходов, т. е. всего процесса обработки данной элементарной поверхности

от черной заготовки до готовой детали; общий припуск определяется разностью размеров черной заготовки и готовой детали.

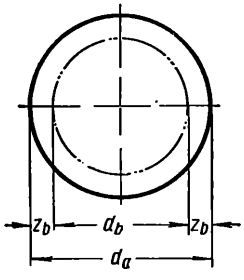
Для наружных поверхностей

$$a_з - a_д = z_o; \tag{109}$$

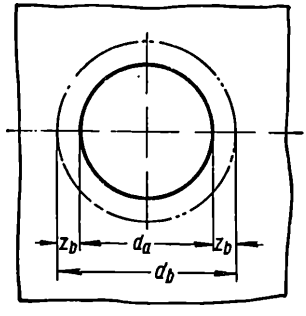
для внутренних поверхностей

$$a_д - a_з = z_o, \tag{110}$$

где z_o — общий припуск на обработку;
$a_з$ — размер черной заготовки;
$a_д$ — размер готовой детали.



Фиг 168. Симметричный припуск на обработку наружной поверхности вращения



Фиг 169. Симметричный припуск на обработку отверстия

Очевидно, что общий припуск на обработку равен сумме промежуточных припусков по всем технологическим переходам процесса обработки от черной заготовки до готовой детали:

$$z_o = \sum_{i=1}^{n} z_i, \tag{111}$$

где n — число технологических переходов.

Различают симметричные и асимметричные припуски на обработку.

Симметричные припуски имеют место при обработке наружных и внутренних поверхностей вращения (фиг. 168 и 169), а также при параллельной обработке противолежащих плоских поверхностей:

$$z_b = \frac{d_a - d_b}{2}$$

или

$$2z_b = d_a - d_b \quad \text{и} \quad 2z_b = l_a - l_b \tag{112}$$

для наружных поверхностей,

$$2z_b = d_b - d_a \quad \text{и} \quad 2z_b = l_b - l_a \tag{113}$$

для внутренних поверхностей,

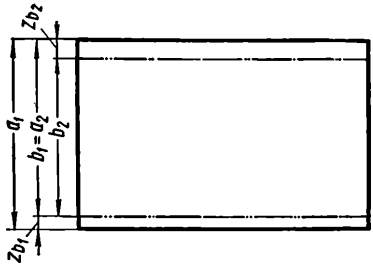
где $2z_b$ — припуск на диаметр или припуск на обе стороны при параллельной обработке противолежащих плоских поверхностей;

d_a и d_b — диаметры поверхностей на предшествующем (d_a) и выполняемом (d_b) переходах;

l_a и l_b — размеры между плоскими поверхностями на предшествующем (l_a) и выполняемом (l_b) переходах.

Асимметричные припуски имеют место, когда обрабатываются противолежащие грани независимо одна от другой (фиг. 170).

$$z_{b_1} = a_1 - b_1\,; \; z_{b_2} = a_2 - b_2.$$



Фиг. 170. Асимметричные припуски на обработку наружных поверхностей.

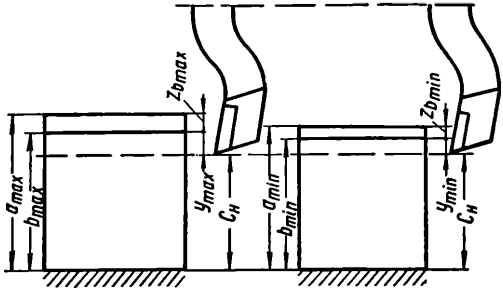
Одностороннее расположение припуска представляет собой частный случай асимметричных припусков, когда одна из противолежащих граней совсем не обрабатывается.

В машиностроении широко применяется опытно-статистический метод определения припусков на обработку. При этом методе припуск устанавливается суммарно на весь технологический процесс механической обработки, без расчета величины припуска по составляющим его элементам, а на основании опытных данных о фактических припусках, при которых производилась обработка заготовок аналогичных деталей машин. В частности, припуски на отливки назначаются независимо от технологического процесса обработки элементарных поверхностей [81], [82]. Опытно-статистические значения припусков на чистовую и отделочную обработку [89], [83] не учитывают схем базирования и других условий выполнения операций.

Опытно-статистические величины припусков обычно завышены, так как они не учитывают особенностей выполнения технологических процессов и соответствуют условиям обработки, при которых припуск должен быть наибольшим.

Методика построения нормативных таблиц, дающих готовую величину припуска, заставляет технолога назначать припуск догматически, отвлекая его от анализа условий выполнения операций и изыскания путей уменьшения величины припусков. В связи с этим возникла задача научно-обоснованного определения припусков на обработку, и с 1935 г. в советской литературе по технологии машиностроения появляются работы, в которых дается анализ факторов, влияющих на величину припуска [84], [85], [91], [92] и в дальнейшем разра-

батываются методы расчета припусков на обработку [86], [90], [93]. В 1952 г. в справочной литературе опытно-статистические нормативы впервые заменяются расчетом припусков [87], и в 1953 г. публикуется расчетно-аналитический метод определения припусков на обработку [88], базирующийся на анализе факторов, влияющих на величину припуска; эта величина определяется методом дифференцированного расчета по элементам, составляющим припуск.



Фиг. 171. Заготовки с наименьшим и наибольшим припусками на обработку наружной поверхности:

Y_{max} и Y_{min} — величины отжатия; C_n — установочный размер.

При обработке на предварительно настроенных станках партий однородных заготовок, вследствие колебаний их размеров в пределах допуска, действительные припуски на обработку тоже будут колебаться. У заготовки с наименьшим предельным размером a_{min} при обработке в размер b наименьший припуск на обработку будет $z_{b_{min}}$, а у заготовки с наибольшим предельным размером a_{max} — наибольший припуск на обработку $z_{b_{max}}$ (фиг. 171). Действительные припуски на обработку заготовок, размеры которых находятся в пределах от a_{min} до a_{max}, будут не менее $z_{b_{min}}$ и не более $z_{b_{max}}$. При обработке на предварительно настроенном станке наружных поверхностей получим выдерживаемые размеры: b_{max} при a_{max} и $z_{b_{max}}$, b_{min} при a_{min} и $z_{b_{min}}$ [1]. В этих условиях

$$z_{b_{min}} = a_{min} - b_{min}; \tag{114}$$

$$z_{b_{max}} = a_{max} - b_{max}. \tag{115}$$

Подставляя $a_{min} + \delta_a$ вместо a_{max} и $b_{min} + \delta_b$ вместо b_{max}, получаем

$$z_{b_{max}} = a_{min} + \delta_a - b_{max} - \delta_b$$

или

$$z_{b_{max}} = z_{b_{min}} + \delta_a - \delta_b. \tag{116}$$

Для номинального припуска $z_{b_{ном}}$ имеем [2]

$$z_{b_{ном}} = a_{ном} - b_{ном}; \tag{117}$$

[1] См. главу II, § 3.

[2] Определение номинальных припусков может понадобиться для сопоставления расчетных припусков с припусками по ГОСТам, заводским и справочным данным.

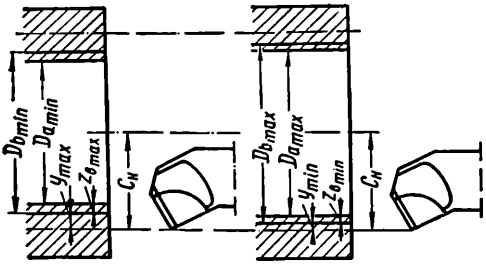
подставляя $a_{min} + H_a$ вместо $a_{ном}$ и $b_{min} + H_b$ вместо $b_{ном}$, получим

$$z_{b_{ном}} = a_{min} + H_a - b_{min} - H_b$$

или

$$z_{b_{ном}} = z_{b_{min}} + H_a - H_b. \qquad (118)$$

где H_a и H_b — нижние отклонения по размерам на предшествующем (H_a) и выполняемом (H_b) переходах.



Фиг. 172. Заготовки с наименьшим и наибольшим припусками на обработку отверстия:

Y_{max} и Y_{min} — величина отжатия; C_n — установочный размер.

Аналогично получаем:
для внутренних поверхностей при асимметричных припусках

$$z_{b_{min}} = b_{max} - a_{max}; \qquad (119)$$

$$z_{b_{max}} = b_{min} - a_{min}; \qquad (120)$$

$$z_{b_{max}} = z_{b_{min}} + \delta_a - \delta_b; \qquad (121)$$

$$z_{b_{ном}} = b_{ном} - a_{ном}; \qquad (122)$$

$$z_{b_{ном}} = z_{b_{min}} + B_a - B_b; \qquad (123)$$

для наружных поверхностей при симметричных припусках

$$2z_{b_{min}} = D_{a_{min}} - D_{b_{min}}; \qquad (124)$$

$$2z_{b_{max}} = D_{a_{max}} - D_{b_{max}}; \qquad (125)$$

$$2z_{b_{max}} = 2z_{b_{min}} + \delta_{D_a} - \delta_{D_b}; \qquad (126)$$

$$2z_{b_{ном}} = D_{a_{ном}} - D_{b_{ном}}; \qquad (127)$$

$$2z_{b_{ном}} = 2z_{b_{min}} + H_{D_a} - H_{D_b}; \qquad (128)$$

для внутренних поверхностей при симметричных припусках (фиг. 172)

$$2z_{b_{min}} = D_{b_{max}} - D_{a_{max}}; \qquad (129)$$

$$2z_{b_{max}} = D_{b_{min}} - D_{a_{min}}; \qquad (130)$$

$$2z_{b_{max}} = D_{b_{max}} - \delta_{D_b} - D_{a_{max}} + \delta_{D_a}$$

или

$$2z_{b_{max}} = 2z_{b_{min}} + \delta_{D_a} - \delta_{D_b}, \tag{131}$$

а для номинальных припусков

$$2z_{b_{ном}} = D_{b_{ном}} - D_{a_{ном}}, \tag{132}$$

т. е.

$$2z_{b_{ном}} = D_{b_{max}} - B_{D_b} - D_{a_{max}} + B_{D_a}$$

или

$$2z_{b_{ном}} = 2z_{b_{min}} + B_{D_a} - B_{D_b}, \tag{133}$$

где B_{D_b} и B_{D_a} — верхние отклонения по диаметральным размерам на выполняемом (B_{D_b}) и предшествующем (B_{D_a}) переходах.

Выдерживаемые при обработке размеры будут: $a_{b_{min}}$ — при $d_{a_{min}}$ и $z_{b_{max}}$; $d_{b_{max}}$ — при $d_{a_{max}}$ и $z_{b_{min}}$. Указанная взаимосвязь размеров, припусков и допусков обусловлена упругими отжатиями элементов технологической системы при обработке заготовок на предварительно настроенных станках.

Допуск на припуск δ_z определяется как разность максимального и минимального припусков. Пользуясь формулами (116) и (126), получаем

$$\delta_z = z_{b_{max}} - z_{b_{min}} = \delta_a - \delta_b; \tag{134}$$

$$\delta_z = 2z_{b_{max}} - 2z_{b_{min}} = \delta_{D_a} - \delta_{D_b}. \tag{135}$$

Переходя к анализу факторов, определяющих величину минимальных припусков, напомним, что каждой заготовке, в зависимости от метода ее выполнения, присущи определенные точность и качество поверхности, так же как и в результате выполнения каждого технологического перехода механической обработки получаем соответствующую точность и определенное качество поверхности.

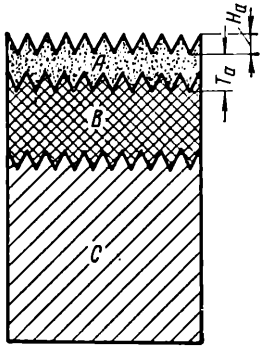
Припуски на обработку определяют таким образом, чтобы на выполняемом технологическом переходе были устранены погрешности заготовки, имевшиеся после выполнения предшествующего перехода.

Качество поверхности заготовок на любой стадии их обработки характеризуется микронеровностями или шероховатостью, состоянием и глубиной поверхностного слоя. Во избежание последовательного наращивания в поверхностном слое отклонений от нормального состояния основного металла микронеровности и дефекты поверхностного слоя, получившиеся на предшествующем технологическом переходе, подлежат удалению при выполняемом переходе.

Однако при расчете припусков на обработку надо учитывать не полную глубину поверхностного слоя, а лишь верхнюю дефектную

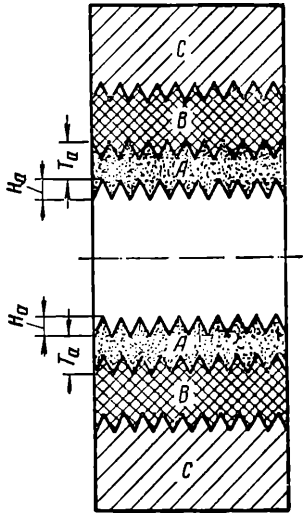
часть его, оставляя нетронутым наклепанный слой, более износостойкий, чем нижележащие слои, и обусловливающий более высокую чистоту поверхности при обработке резанием в его зоне (фиг. 173 и 174).

Напомним, что точность выполнения заготовок и последующей их обработки характеризуется, кроме отклонений от заданных размеров, в пределах допуска, геометрическими погрешностями формы и пространственными отклонениями.



Фиг. 173. Поверхностный слой при обработке наружной поверхности:

A — удаляемая дефектная часть поверхностного слоя, *B* — неудаляемая часть поверхностного слоя (наклеп и переходная зона), *C* — нормальная структура металла; H_a — микронеровности T_a — дефекты поверхностного слоя, оставшиеся от предшествующей обработки.



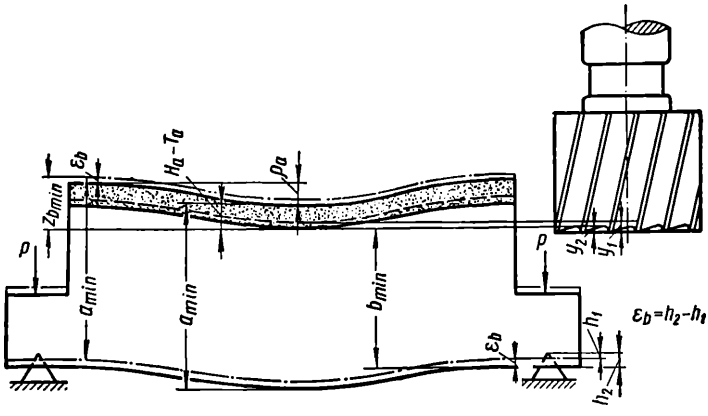
Фиг 174. Поверхностный слой при обработке внутренней поверхности (отверстия)

A — удаляемая дефектная часть поверхностного слоя; *B* — неудаляемая часть поверхностного слоя (наклеп и переходная зона), *C* — нормальная структура металла; H_a и T_a — см. фиг 173.

Геометрические погрешности формы поверхностей — овальность, конусность, бочкообразность, седлообразность, вогнутость, выпуклость и т. п. — могут быть допущены только в пределах поля допуска на размер, составляя обычно некоторую часть его, и поэтому при расчете припусков не учитываются.

Пространственные отклонения — кривизна осей, коробление поверхностей, увод и непараллельность осей, неперпендикулярность осей и поверхностей, отклонения от соосности ступеней валов и отверстий, эксцентричность внешних поверхностей относительно отверстий и т. п. — не связаны с допуском на размер элементарной поверхности и имеют самостоятельное значение. Они учитываются в мини-

мальном припуске в виде слагаемого ρ_a. При выполняемом переходе могут возникнуть погрешности установки, вызывающие смещение заготовки и требующие соответствующего увеличения припуска на обработку. Таким образом, наименьший асимметричный припуск на обработку $z_{b_{min}}$ (фиг. 175) должен включать погрешности поверхностного слоя (высоту микронеровностей H_a и глубину дефектного поверхностного слоя T_a), суммарное значение пространственных



Фиг 175. Минимальный асимметричный припуск на обработку наружной поверхности:

Y_1 и Y_2 — величины отжатий по оси шпинделя станка; h_1 и h_2 — величины деформации поверхностного слоя.

отклонений ρ_a, оставшихся от предшествующей обработки, и погрешность установки заготовок при выполняемой операции ε_b:

$$z_{b_{min}} = a_{min} - b_{min} = (H_a + T_a) + \rho_a + \varepsilon_b.$$

В приведенном случае (фиг. 175) погрешностью установки ε_b является осадка заготовки вследствие деформации верхнего слоя ее опорной поверхности. Эта погрешность установки должна быть компенсирована увеличением припуска на обработку.

Те же погрешности предшествующей обработки и погрешность установки заготовки на выполняемой операции должны быть учтены при определении симметричного припуска. В частности, например, при обработке отверстия (фиг. 176) получим $2z_{b_{min}}$ при наличии $d_{a_{max}}$ (см. фиг. 172).

При предшествующей обработке отверстия получены определенные значения H_a и T_a, а также смещение $\rho_{см}$ и увод $\rho_{ув}$ оси отверстия относительно оси наружной поверхности заготовки. Суммарное значение смещения и увода оси отверстия ρ_a является пространственным отклонением, получившимся на предшествующем переходе, например при сверлении отверстия. Допустим, что при установке

заготовки в самоцентрирующем патроне произошло смещение ее оси ε_b от оси вращения. При этих условиях получим

$$\frac{d_{b_{max}}}{2} = (H_a + T_a) + \frac{d_{a_{max}}}{2} + |\bar{\rho}_a + \bar{\varepsilon}_b|,$$

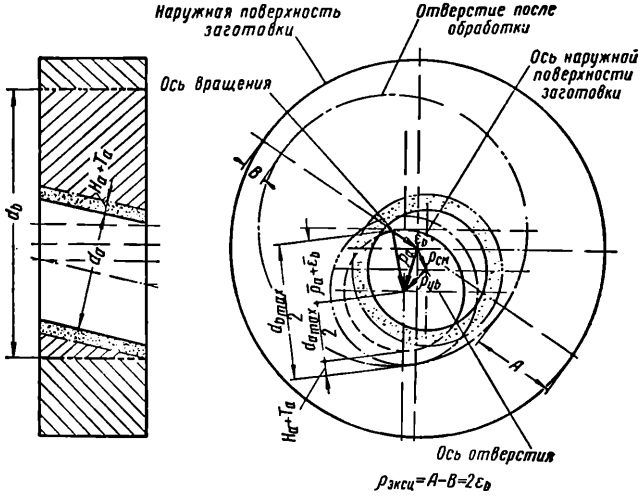
следовательно,

$$\frac{d_{b_{max}} - d_{a_{max}}}{2} = (H_a + T_a) + |\bar{\rho}_a + \bar{\varepsilon}_b| = z_{b_{min}}$$

или

$$d_{b_{max}} - d_{a_{max}} = 2z_{b_{min}} = 2\left[(H_a + T_a) + |\bar{\rho}_a + \bar{\varepsilon}_b|\right].$$

Заметим, что в связи с пространственным отклонением ρ_a, получившимся в результате предшествующей обработки, и погрешности установки ε_b при выполняемой операции получим эксцентричность



Фиг. 176. К расчету минимального симметричного припуска на обработку отверстия.

наружной поверхности заготовки относительно обработанного в размер $d_{b_{max}}$ отверстия. Эта эксцентричность должна быть учтена как пространственное отклонение при расчете припуска на последующую обработку наружной поверхности с базированием по обработанному отверстию.

Определяя аналогичным путем асимметричный припуск для внутренней поверхности и симметричный припуск для наружной поверхности, получим те же формулы. Однако припуски на обработку наружных поверхностей определяются как разность наименьших предельных размеров, а на обработку внутренних поверхностей —

как разность наибольших предельных размеров по двум смежным технологическим переходам.

Отклонение размера и погрешность формы обрабатываемой поверхности не учитываются в связи с тем, что наименьшие припуски $z_{b\min}$ и $2z_{b\min}$ отсчитываются при обработке наружных поверхностей от наименьшего предельного размера, при обработке внутренних поверхностей — от наибольшего предельного размера, и все отклонения от этих размеров будут увеличивать действительный припуск сравнительно с расчетным минимальным припуском.

Суммирование пространственных отклонений ρ_a с погрешностью установки ε_b производится с учетом направления этих векторов.

Во всех случаях при обработке плоскостей имеем коллинеарные векторы $\bar{\rho}_a$ и $\bar{\varepsilon}_b$; в этих случаях, как известно, получаем

$$|\bar{\rho}_a + \bar{\varepsilon}_b| = (\rho_a + \varepsilon_b),$$

т. е. векторная сумма определяется арифметической суммой значений векторов.

При обработке наружных и внутренних поверхностей вращения векторы ρ_a и ε_b могут принимать любое угловое положение, предвидеть которое заранее не представляется возможным; поэтому в целях получения наиболее вероятного суммарного значения их сложение векторов $\bar{\rho}_a$ и $\bar{\varepsilon}_b$ следует производить по правилу квадратного корня, т. е. принимать

$$|\bar{\rho}_a + \bar{\varepsilon}_b| = \sqrt{\rho_a^2 + \varepsilon_b^2}.$$

Таким образом, получаем следующие расчетные формулы для определения припусков на обработку:

а) асимметричный припуск при последовательной обработке противолежащих плоских поверхностей

$$z_{b\min} = (H_a + T_a) + (\rho_a + \varepsilon_b); \qquad (136)$$

б) симметричный припуск при параллельной обработке противолежащих плоских поверхностей

$$2z_{b\min} = 2[(H_a + T_a) + (\rho_a + \varepsilon_b)]; \qquad (137)$$

в) симметричный припуск при обработке наружных и внутренних поверхностей вращения

$$2z_{b\min} = 2\left[(H_a + T_a) + \sqrt{\rho_a^2 + \varepsilon_b^2}\right]. \qquad (138)$$

Характеристика качества поверхностей заготовок в различных стадиях производства позволяет с достаточной для практических целей точностью принять для расчета припусков на обработку округленные значения поверхностных неровностей и глубины дефектного

поверхностного слоя. Известно, что глубина обезуглероженного слоя зависит от марки стали, из которой изготовляется поковка. Однако разностью этих значений для различных марок как углеродистой, так и легированной стали можно пренебречь при расчете припусков под черновую обработку, принимая укрупненные значения H_a и T_a. Размеры черных заготовок также оказывают некоторое влияние на погрешности поверхностного слоя; поэтому целесообразно установить несколько размерных групп для черных литых заготовок в зависимости от наибольших габаритных размеров. Для штампованных поковок устанавливаем также несколько групп в зависимости от их веса.

При обработке заготовок значения H_a и T_a находятся в зависимости от методов обработки [1]

При обработке наружных и внутренних поверхностей вращения суммарное значение пространственных отклонений определяется векторным сложением; угловое положение векторов, характеризующих пространственные отклонения, предусмотреть заранее не представляется возможным. Поэтому сложение этих векторов в целях получения наиболее вероятного суммарного значения следует производить по правилу квадратного корня; в частности, например, нельзя заранее предусмотреть направление вектора кривизны у штампованных заготовок стержневых деталей (валы, рычаги и т. п.), или вектора, характеризующего эксцентричность просекаемых на прессах отверстий у деталей типа дисков, относительно вектора смещения штампов в каждом из этих случаев. Следовательно,

$$\bar{\rho}_{см} + \bar{\rho}_{кр} = \sqrt{\rho_{см}^2 + \rho_{кр}^2}; \qquad (139)$$

$$\bar{\rho}_{см} + \bar{\rho}_{эксц} = \sqrt{\rho_{см}^2 + \rho_{эксц}^2},$$

где $\bar{\rho}_{см}$ — смещение штампов;

$\rho_{кр}$ — общая кривизна стержневой детали;

$\rho_{эксц}$ — эксцентричность отверстия относительно наружной поверхности диска.

При расчете припусков на обработку поверхностей у литых заготовок необходимо учитывать смещение оси отверстия относительно координирующих поверхностей. Величину смещения следует принимать в зависимости от расстояния оси отверстия до измерительной базы по таблицам допускаемых отклонений по размерам литых заготовок (ГОСТы 1855-55 и 2009-55).

При базировании по черному отверстию значения $\bar{\rho}_a$ (смещение его оси) учитывается в припуске на обрабатываемую поверхность. В случае обработки черного отверстия от координированной с ним

[1] Приложения 5а и 5б.

базовой поверхности значение $\bar{\rho}_a$ должно быть учтено в припуске на обработку отверстия.

Припуск, компенсирующий коробление черной отливки, устанавливается в зависимости от конструкции и размерных соотношений заготовки, т. е. ее жесткости. Этот припуск удаляется обычно при черновой обработке, после которой, однако, остается значительно уменьшенная, но все же достаточно ощутимая остаточная погрешность коробления. В связи с удалением верхних напряженных слоев металла при черновой обработке нарушается равновесие внутренних напряжений, что приводит к деформации заготовки. Поэтому при расчете припуска под получистовую или чистовую обработку учитывают совокупность остаточного коробления и коробления, возникающего в результате перераспределения внутренних напряжений. Результирующую пространственных отклонений принимаем ориентировочно как удвоенную величину остаточного коробления:

$$\rho_{расч} = 2K_{ут}\rho_{кор} = 2\rho_{ост}, \qquad (140)$$

где $K_{ут}$ — коэффициент уточнения, который определяется по формуле (51);

$\rho_{кор}$ — коробление черной заготовки.

Для литых черных заготовок величину коробления определяют по формуле (86):

$$\rho_{кор} = \Delta_{кор}L,$$

где $\Delta_{кор}$ — удельная величина коробления в *мк/мм*;

L — размер поверхности (длина заготовки), для которой рассчитывается припуск на обработку в наибольшем измерении, в *мм*. $\Delta_{кор}$ для литых заготовок с развитыми плоскими поверхностями (типа корпусов и плит) составляет 0,7—3 *мк/мм* [1].

При обработке в центрах существенное влияние на величину припуска оказывает погрешность зацентровки, т. е. смещение оси центровых гнезд относительно геометрической оси заготовки. Погрешность зацентровки зависит от погрешностей геометрической формы шеек заготовки, базирующих ее при зацентровке, от кривизны заготовки и погрешности настройки центровального станка. Учитывая, однако, что кривизна заготовки оказывает ничтожное влияние на погрешность зацентровки (5—25 *мк* для валов диаметром 18—180 *мм*), с достаточной для практических целей точностью можно пренебречь влиянием этого фактора и определять погрешность зацентровки в зависимости от погрешностей геометрической формы шеек, базирующих заготовку при зацентровке, и погрешности настройки центровального станка по формуле

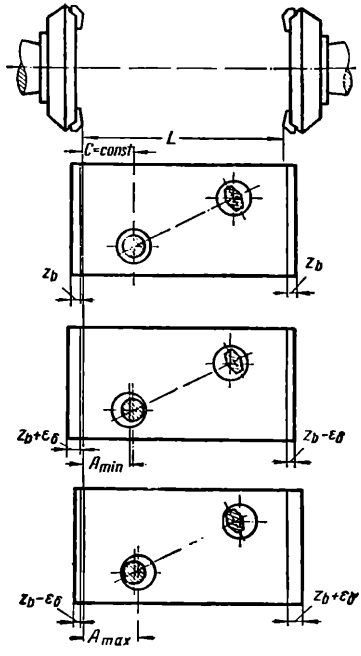
$$\rho_ц = \sqrt{\Delta_ф^2 + \Delta_н^2}, \qquad (141)$$

[1] См. Справочник технолога-машиностроителя, т. 1, Машгиз, 1956, стр 82

где $\Delta_ф$ — влияние погрешности формы базирующих при зацентровке шеек на смещение оси центровых гнезд относительно геометрической оси заготовки;

$\Delta_н$ — влияние погрешности настройки центровального станка на смещение оси центровых гнезд относительно оси заготовки.

Учитывая, что погрешности формы для поперечных размеров до 500 *мм* обычно не превышают половины допуска по размеру и принимая наиболее неблагоприятные условия установки в призмах центровального станка заготовки с односторонней погрешностью формы, получаем, что в результате этой погрешности ось заготовки сместится относительно оси призм центровального станка приблизительно на величину $0{,}25\delta$. Вместе с тем погрешность настройки центровального станка, т. е. отклонение оси шпинделей относительно оси зажимных призм, без особых трудностей укладывается в 0,25 *мм*; при этом вектор, характеризующий погрешность настройки станка, может получить при настройке любое угловое направление относительно вектора, характеризующего смещение оси заготовки относительно оси призм центровального станка. При этих условиях, исходя из формулы (141), наиболее вероятное значение погрешности зацентровки ($\rho_ц$ в *мм*) получим по формуле



Фиг. 177 Базирование корпусной детали по плоскости и двум базовым отверстиям в ней

$$\rho_ц = \sqrt{(0{,}25\delta)^2 + 0{,}25^2}$$

или

$$\rho_ц = 0{,}25\sqrt{\delta^2 + 1}, \qquad (142)$$

где δ — допуск на диаметральный размер заготовки в *мм*.

При параллельной обработке плоских противолежащих поверхностей с базированием по опорной плоскости и двум базовым отверстиям в ней (фиг. 177) погрешность базирования определяется по формуле (8):

$$\varepsilon_L = s_{min} + \delta_A + \delta_B;$$

закрепление прихватами, прижимающими заготовку к опорным элементам приспособления, как обычно практикуется в таких случаях.

не окажет влияния на выдерживаемый размер L и припуск на обработку z_b. Следовательно, погрешность установки в рассматриваемом случае определяется погрешностью базирования $\varepsilon_б$. Учитывая, что заготовка при установке может сместиться как в одну, так и в другую сторону, припуск на размер L должен быть увеличен на удвоенную погрешность установки:

$$2\varepsilon_L = 2(s_{\min} + \delta_A + \delta_B).$$

При обработке поверхностей вращения погрешность установки не влияет непосредственно, как нам известно, на выдерживаемый размер, но для качественной обработки должна быть компенсирована соответствующим увеличением припуска на обработку. Иллюстрируем влияние погрешности установки на величину припуска некоторыми примерами.

Допустим, что при обработке методом автоматического получения размера на предварительно настроенных станках базируем обрабатываемую партию заготовок по отверстию, размер которого для разных заготовок этой партии колеблется в пределах δ_A.

Обработку производим на нескольких станках и, следовательно, на нескольких оправках, диаметр которых колеблется в пределах δ_B.

При посадке заготовки на оправку с равномерно распределенным зазором оси оправки и заготовки совпадают (фиг. 178, *а*), а погрешность базирования в этом случае равна нулю (вследствие совмещения установочной и измерительной баз) и припуск на обработку заготовки от размера D_a до размера D_b определится как разность этих размеров:

$$2z_b = D_a - D_b.$$

Однако вероятность такой точной посадки обрабатываемой заготовки на оправку ничтожна; практически ось заготовки будет смещаться относительно установленного на размер инструмента в пределах от

$$A_{\max} = C + \frac{d_{A\max} - d_{B\min}}{2} \text{ (фиг. 178, } б)$$

до

$$A_{\min} = C - \frac{d_{A\max} - d_{B\min}}{2} \text{ (фиг. 178, } в)$$

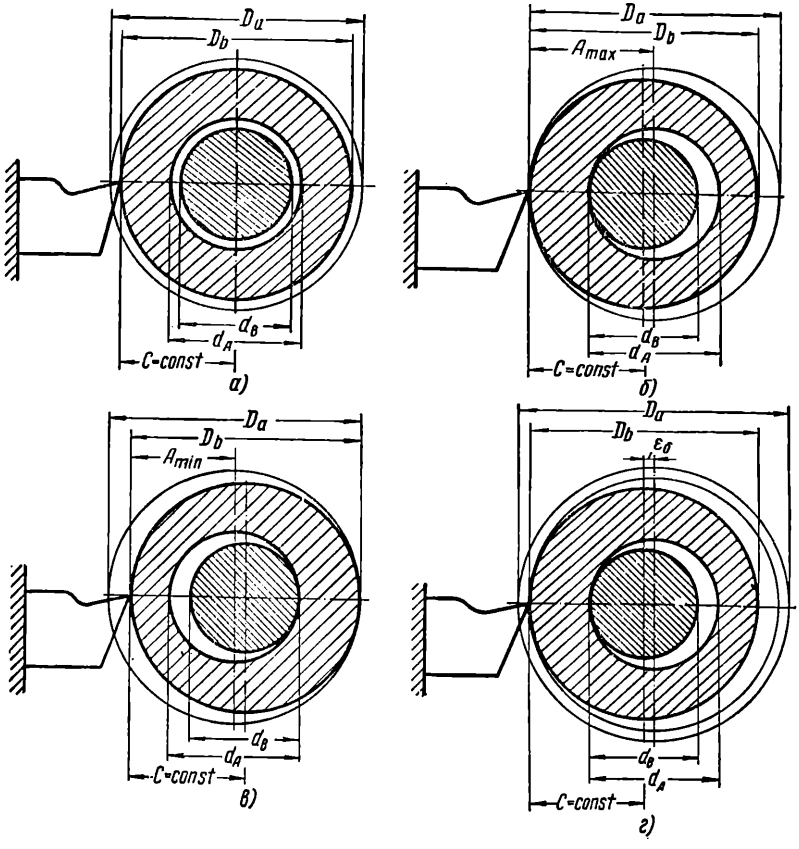
Погрешность базирования $\varepsilon_б$ определяется как разность предельных расстояний измерительной базы, т. е. оси заготовки относительно установленного на размер режущего инструмента:

$$\varepsilon_б = A_{\max} - A_{\min} = C + \frac{d_{A\max} - d_{B\min}}{2} - C + \frac{d_{A\max} - d_{B\min}}{2};$$

$$\varepsilon_б = \frac{s_{\max}}{2} + \frac{s_{\max}}{2} = s_{\max} = s_{\min} + \delta_A + \delta_B,$$

где s_{max} — наибольший зазор;
s_{min} — гарантированный наименьший зазор;
δ_A — допуск на размер отверстия;
δ_B — допуск на размер оправки.

В связи со смещением оси заготовки относительно режущего лезвия припуск размещается несимметрично относительно оси враще-



Фиг 178. Влияние погрешности базирования на величину припуска при свободной посадке заготовки на оправку:

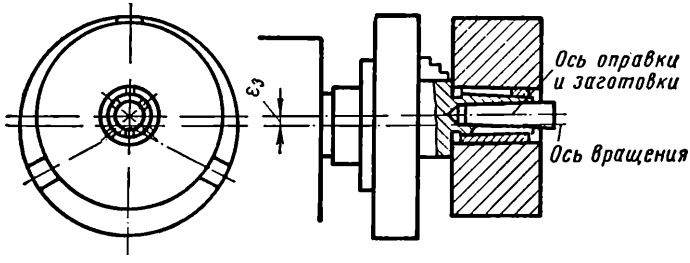
а — с равномерно распределенным зазором *б* — при смещении оси заготовки на величину зазора, *в* — при повороте закрепленной заготовки на 180° *г* — при увеличении припуска на удвоенную погрешность базирования.

ния и может оказаться недостаточным с одной стороны заготовки (фиг. 178, *б*); следовательно, для качественного выполнения обработки припуск должен быть увеличен на удвоенную погрешность базирования (фиг. 178, *г*), т. е. на величину

$$2\varepsilon_б = 2\,(s_{min} + \delta_A + \delta_B).$$

При закреплении оправки в жестких центрах погрешность закрепления может быть принята равной нулю ($\varepsilon_з = 0$) и погрешность установки определяется погрешностью базирования заготовки на оправке. Само собой разумеется, что обработанная наружная поверхность будет эксцентрична относительно отверстия на удвоенную величину погрешности базирования.

При установке обрабатываемой заготовки на разжимную оправку зазор «выбирается» и погрешность базирования может быть принята равной нулю ($\varepsilon_б = 0$), но при закреплении разжимной оправки в самоцентрирующем патроне может возникнуть погрешность



Фиг. 179. Погрешность установки заготовки на разжимную оправку, закрепленную в самоцентрирующем патроне.

закрепления в результате смещения оправки в радиальном направлении, в связи с неравномерным отжатием зажимных кулачков патрона; в этом случае (фиг. 179) погрешность установки равна погрешности закрепления, которая и должна быть учтена при расчете припуска на обработку.

При свободной посадке заготовки на цилиндрическую оправку имеет место погрешность базирования, а при закреплении этой оправки в трехкулачковом патроне появляется и погрешность закрепления. Погрешность установки в этом случае получится как результат сложения векторов погрешности базирования $\bar{\varepsilon}_б$ и погрешности закрепления $\bar{\varepsilon}_з$ (фиг. 180):

$$\bar{\varepsilon}_b = \bar{\varepsilon}_б + \bar{\varepsilon}_з;$$

эта векторная сумма определяется по формуле

$$\varepsilon_b = \sqrt{\varepsilon_б^2 + \varepsilon_з^3 + 2\varepsilon_б\varepsilon_з \cos(\bar{\varepsilon}_б, \bar{\varepsilon}_з)},$$

где $(\bar{\varepsilon}_б, \bar{\varepsilon}_з)$ — угол, образованный вектором $\bar{\varepsilon}_з$ с вектором $\bar{\varepsilon}_б$.

При установке партии заготовок могут получаться любые углы, образованные векторами $\bar{\varepsilon}_б$ и $\bar{\varepsilon}_з$. Поэтому их следует суммировать по правилу квадратного корня. Таким образом,

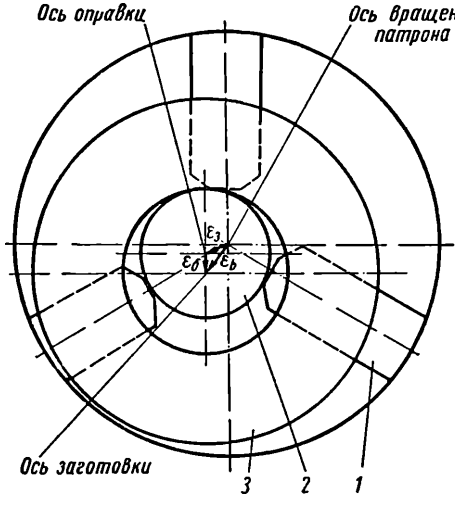
$$\varepsilon_b = \sqrt{\varepsilon_б^2 + \varepsilon_з^2},$$

т. е. погрешность установки в этом случае определяется по формуле (11).

Для иллюстрации совместного влияния пространственных отклонений и погрешности установки на величину припуска рассмотрим два варианта обработки литой втулки: в одном случае с базированием по литому отверстию и в другом случае — по наружной поверхности.

При сборке литейной формы втулки, показанной на фиг. 181, *а*, может произойти смещение стержня, и в связи с этим возможно отклонение оси отверстия относительно наружной поверхности в литой заготовке (фиг. 181, *б*). При обработке наружной поверхности втулки с базированием по отверстию (фиг. 181, *в*) припуск на обработку наружной поверхности определяем по формуле (138):

$$2z_{b_1} = 2\left[(H_a + T_a) + \sqrt{\rho_a^2 + \varepsilon_{b_1}^2}\right]$$



Фиг 180. Погрешность установки при свободной посадке заготовки на оправку, закрепленную в самоцентрирующем патроне:
1 — патрон; *2* — оправка, *3* — заготовка.

В этом случае пространственное отклонение, т. е. смещение оси отверстия, достигающее 1 *мм* для втулок диаметром 100 *мм* и длиной 200 *мм* (2-й класс точности отливок), отражается на неравномерности припуска по наружной поверхности; поэтому $\rho_a = 1000$ *мк*. Погрешность установки по фиг. 181, *в* не имеет места ($\varepsilon_{b_1} = 0$). Принимая $H_a = 300$ *мк* и $T_a = 300$ *мк*, получим припуск по наружной поверхности:

$$2z_{b_1} = 2\left[(300 + 300) + \sqrt{1000^2}\right] = 3200 \text{ мк}.$$

При последующей обработке отверстия (вторая операция) с базированием по обработанной наружной поверхности (фиг. 181, *г*) остаточное пространственное отклонение, т. е. смещение оси отверстия относительно наружной поверхности, определим, пользуясь формулой (52):

$$\rho_{ост} = W_{сист} A\left[t^x - (t - \rho_a)^x\right].$$

Принимая податливость станка $W_{ст} = 1$ *мк/кг* и пренебрегая податливостью обрабатываемой втулки, получаем податливость системы $W_{сист} = 1$ *мк/кг*.

Определяем значение [1]:

$$A = C_y s^y H_B^n;$$

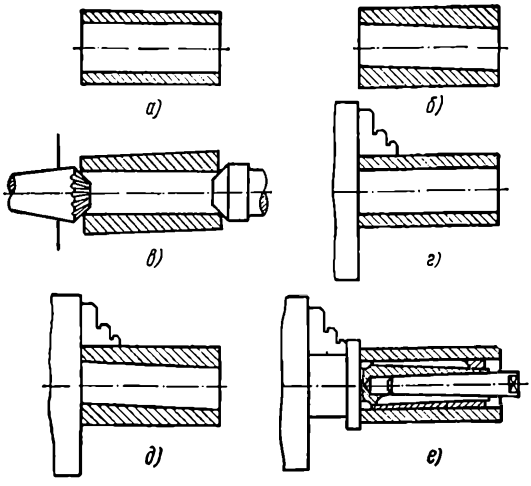
$$A = 0{,}045 \cdot 0{,}4^{0{,}75} \cdot 180^{1{,}3} = 19{,}24.$$

Вводя поправку на скорость резания ($v = 120$ *м/мин*), получаем

$$A = 19{,}24 \cdot 0{,}7 \approx 13{,}5.$$

При этих условиях получаем

$$\rho_{ост} = 1 \cdot 13{,}5\,[1{,}6^{0{,}9} - (1{,}6 - 1)^{0{,}9}] \approx 12 \text{ мк}.$$



Фиг 181. К расчету припусков на обработку литой втулки:

а — готовая втулка; *б* — заготовка; *в* и *г* — эскизы обработки по первому варианту; *д* и *е* — эскизы обработки по второму варианту.

Погрешность установки в самоцентрирующем патроне после черновой обработки $\varepsilon_{b_2} = 150$ *мк*. Таким образом, припуск на обработку отверстия получим по формуле (138):

$$2z_{b_2} = 2\,[(300 + 300) + \sqrt{12^3 + 150^2}] \approx 1500 \text{ мк}.$$

Если производить обработку отверстия по второму варианту, приняв за первичную базу наружную поверхность черной заготовки (фиг. 135, *д*), то смещение оси отверстия $\rho_a = 1000$ *мк* войдет в припуск на обработку отверстия. Погрешность закрепления по черной наружной поверхности в самоцентрирующем патроне $\varepsilon_{b_3} = 400$ *мк*. Таким образом, припуск на обработку отверстия получим по формуле (138)

$$2z_{b_3} = 2\,[(300 + 300) + \sqrt{1000^2 + 400^2}] \approx 3400 \text{ мк}.$$

При последующей обработке наружной поверхности с базированием по обработанному отверстию на разжимной оправке (фиг. 181, *е*) имеем $\varepsilon_б = 0$ и $\varepsilon_э = 80$ *мк*, т. е. $\varepsilon_{b_4} = 80$ *мк*. Остаточное пространственное отклонение в результате смещения оси отверстия относительно наружной поверхности черной заготовки получим по формуле

$$\rho_{ост} = W_{сист} A\,[t^x - (t - \rho_a)^x] = 1 \cdot 13{,}5\,[1{,}7^{0{,}9} - (1{,}7 - 1)^{0{,}9}] = 12 \text{ мк}.$$

[1] См. вывод формулы (49).

При обработке черного отверстия с базированием по черной наружной поверхности, в результате погрешности установки $\varepsilon_{b_3} = 400$ *мк* получим эксцентричность отверстия относительно наружной поверхности:

$$\rho_{эксц} = 2\varepsilon_{b_3} = 2 \cdot 400 = 800 \text{ мк}.$$

Суммарное значение пространственных отклонений

$$\bar{\rho}_a = \bar{\rho}_{эксц} + \rho_{ост} = \sqrt{800^2 + 12^2} \approx 800 \text{ мк}.$$

Следовательно, припуск на обработку наружной поверхности с базированием по обработанному отверстию получим по формуле (138):

$$2z_{b_4} = 2\,[(300 + 300) + \sqrt{800^2 + 80^2}] \approx 2808 \text{ мк} \approx 2{,}8 \text{ мм}.$$

Сопоставляя припуски по рассмотренным вариантам обработки, имеем: а) для наружной поверхности по первому варианту $2z_b = 3{,}2$ *мм*, по второму варианту $2z_b = 2{,}8$ *мм*; б) для отверстия по первому варианту $2z_b = 1{,}5$ *мм*, по второму варианту $2z_b = 3{,}4$ *мм*.

Из рассмотренного примера видно, что пространственные отклонения, оставшиеся от предшествующего перехода, и погрешность установки заготовки при выполняемом переходе весьма существенно влияют на величину припуска. Поэтому припуски должны определяться расчетом применительно к условиям выполнения обработки. Табличными же данными, которыми пользуются при опытно-статистическом методе определения припусков, нельзя предусмотреть всего многообразия условий выполнения обработки, поэтому при пользовании ими приходится назначать завышенные припуски.

Для подтверждения этого сопоставим полученные расчетом припуски с припусками по ГОСТу 1855-55. Номинальные припуски для втулки с наружным диаметром $100_{-0,14}$, внутренним диаметром $84^{+0,07}$ и длиной 200 *мм* для второй группы отливок по указанному ГОСТу одинаковы для наружной поверхности и отверстия, а именно по 5 *мм* на диаметральные размеры. Для сопоставления с этими припусками пересчитаем полученные нами минимальные припуски на номинальные, пользуясь формулами (128) и (133):

а) для наружной поверхности

$$2z_{b_{ном}} = 2z_{b_{\min}} + H_{Da} - H_{Db};$$

по первому варианту

$$2z_{b_{ном}} = 3{,}2 + 0{,}8 - 0{,}14 = 3{,}86 \text{ мм};$$

по второму варианту

$$2z_{b_{ном}} = 2{,}8 + 0{,}8 - 0{,}14 = 3{,}46 \text{ мм};$$

б) для отверстия

$$2z_{b_{ном}} = 2z_{b_{\min}} - B_{Db} + B_{Da};$$

по первому варианту

$$2z_{b_{ном}} = 1{,}5 - 0{,}07 + 0{,}8 = 2{,}23;$$

по второму варианту

$$2z_{b_{ном}} = 3{,}4 - 0{,}07 + 0{,}8 = 4{,}13.$$

Разность припусков по ГОСТу 1855-55 сравнительно с расчетными:

а) по первому варианту: для наружной поверхности 5—3,86 = = 1,14 *мм*, для отверстия 5 — 2,23 = 2,77 *мм*; всего 3,91, т. е. около 4 *мм*;

б) по второму варианту: для наружной поверхности 5 — 3,46 = = 1,54 *мм*, для отверстия 5 — 4,13 = 0,87 *мм*; всего 2,41, т. е. около 2,5 *мм*.

Столь существенная разница в припусках в условиях серийного, а тем более массового производства неоправданно и значительно повысит расход металла, силовой электроэнергии и режущего инструмента, а также увеличит трудоемкость процесса обработки.

Уместно при этом заметить, что путем расчета припусков на обработку при проектировании технологических процессов может быть обоснован в ряде случаев оптимальный вариант технологического процесса производства заданной детали. В частности, в рассмотренном нами примере оптимальным является первый вариант.

В ряде конкретных случаев те или иные слагаемые, входящие в расчетные формулы для определения припусков на обработку, исключаются.

При бесцентровом шлифовании погрешность установки не имеет места и припуск на обработку определяется по формуле

$$2z_{b_{min}} = 2[(H_a + T_a + \rho_a].$$

В расчетных формулах исключаются те погрешности, которые не могут быть ликвидированы при выполняемом переходе; например, при развертывании плавающей разверткой и протягивании отверстий смещение и увод оси не исправляются, а погрешность установки в этих случаях не возникает; следовательно, расчет производится по формуле

$$2z_{b_{min}} = 2(H_a + T_a).$$

При отделочном шлифовании (суперфинишировании) и полировании, когда достигается лишь повышение чистоты поверхности, припуск на обработку определяется высотой микронеровностей поверхности, т. е.

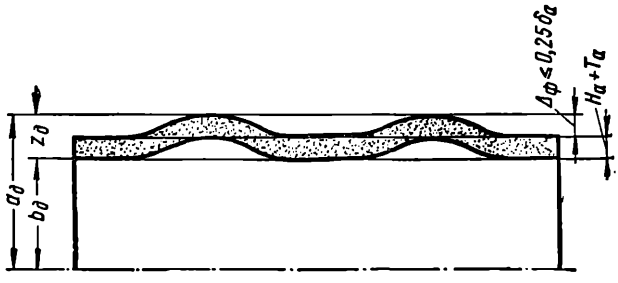
$$2z_{b_{min}} = 2H_a.$$

При обработке лезвийным инструментом без выдерживания размера («как чисто») черной поверхности (фиг. 182) снимается слой

металла $z_д$, определяемый величиной поверхностного слоя $(H_a + T_a)$ и погрешностью геометрической формы обрабатываемой поверхности $\Delta_ф$, не превышающей обычно $^1/_4$ допуска черной заготовки на сторону ($\Delta_ф = 0{,}25\ \delta_a$), т. е.

$$z_д = (H_a + T_a) + 0{,}25\delta_a.$$

При шлифовании заготовок после термической обработки поверхностный слой должен быть по возможности сохранен, следовательно,



Фиг 182. К определению величины снимаемого слоя при обработке без выдерживания размера.

слагаемое T_a должно быть исключено из расчетной формулы; таким образом, при наличии погрешностей установки

$$z_{b_{\min}} = H_a + \rho_a + \varepsilon_b;$$

$$2z_{b_{\min}} = 2\left(H_a + \sqrt{\rho_a^2 + \varepsilon_b^2}\right);$$

в тех случаях, когда погрешность установки отсутствует,

$$z_{b_{\min}} = H_a + \rho_a;$$

$$2z_{b_{\min}} = 2(H_a + \rho_a).$$

Возможные после термической и химико-термической обработки заготовок деформации, создающие пространственные отклонения, должны быть компенсированы величиной ρ_a.

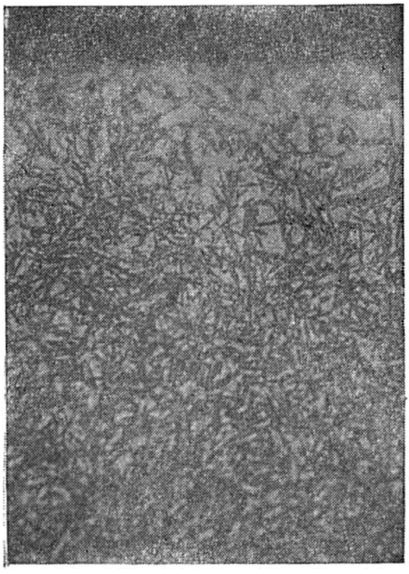
Исключение слагаемого T_a из расчетной формулы для определения припусков на обработку после термической обработки обосновано результатами проведенных для этой цели специальных исследований.

Образцы диаметром 40 *мм* и длиной 320 *мм* из стали марки 18ХГТ предварительно шлифовались абразивным кругом зернистостью 60. Затем одна группа образцов подвергалась цементации, а другая — цианированию. При этом были приняты следующие режимы химико-термической обработки.

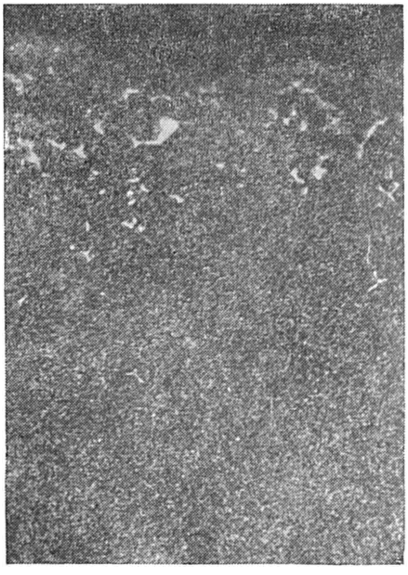
1) Цементация при температуре 920—930° в газовой цементационной печи в течение 10 час. Подстуживание до температуры 840° и непосредственная закалка в масле с температуры 840°. Отпуск

после закалки при температуре 200° с выдержкой 1,5 часа. Микроструктурный анализ этих образцов показал, что структура поверхностного слоя состоит из мелкоигольчатого мартенсита и небольшого количества остаточного аустенита (фиг. 183).

2) Цементация, закалка и отпуск при том же режиме, но с повторкой закалкой с температуры 830—840° в масло, отпуском при 200° и выдержкой 1,5 часа. Микроструктурный анализ этих образцов показал, что структура поверхностного слоя состоит из высокодисперс-



Фиг. 183. Микрошлиф поверхностного слоя после цементации и однократной закалки



Фиг. 184. Микрошлиф поверхностного слоя после цементации и двукратной закалки.

ного мартенсита и незначительного количества мелких карбидов у поверхности (фиг. 184).

У всех образцов, подвергавшихся цементации, глубина цементованного слоя находилась в пределах 900—1000 *мк*.

3) Цианирование с нагревом в цианистой ванне до температуры 860°, выдержка 1 час, закалка в масле, отпуск при температуре 200°, выдержка 1,5 часа. Микроструктурный анализ этих образцов показал, что структура поверхностного слоя состоит из высокодисперсного троостомартенсита (фиг. 185). Глубина цианированного слоя у всех образцов находилась в пределах 480—500 *мк*.

Микроструктурным анализом образцов, подвергавшихся химико-термической обработке, не обнаружено в поверхностном слое зоны резко выраженной деформации, которая наблюдается обычно после

предварительного шлифования незакаленных заготовок. По-видимому, термообработкой были сняты остаточные напряжения, создаваемые в поверхностном слое шлифованием. Надо полагать при этом, что в результате шлифования в поверхностном слое не возникло обезуглероженной зоны.

После химико-термической обработки как цементованные, так и цианированные образцы шлифовались на глубину 200 *мк*. Микроструктурным анализом образцов после шлифования не обнаружено дефектного поверхностного слоя (фиг. 186—188), и структурное состояние его сохранилось неизменным у всех образцов, что и подтверждает целесообразность исключения из расчетной формулы для определения припусков на обработку слагаемого T_a, характеризующего глубину дефектной зоны поверхностного слоя.

Величины слагаемых, входящих в формулы для определения припусков на обработку, зависят от конфигурации и размерных соотношений обрабатываемой заготовки, от обрабатываемого материала, методов выполнения заготовки и последующей ее обработки и от способа установки заготовки при обработке ее на станке. Поэтому справочные материалы для расчета припусков на обработку должны быть даны по классам обрабатываемых деталей машин в зависимости от размерных соотношений элементарных поверхностей, обрабатываемого материала и методов обработки.

Справочные материалы, предназначаемые для определенной отрасли машиностроения, должны строиться применительно к классификации деталей машин и специфике технологии производства данной отрасли машиностроения.

Расчет промежуточных припусков на обработку производится с целью определения предельных размеров заготовки по всем технологическим переходам от готовой детали до черной заготовки.

Расчетные формулы для определения промежуточных размеров получаются на базе исходных формул припусков:

$$z_{b_{\min}} = a_{\min} - b_{\min}$$

для внешних погрешностей и

$$z_{b_{\min}} = b_{\max} - a_{\max}$$

для внутренних погрешностей.

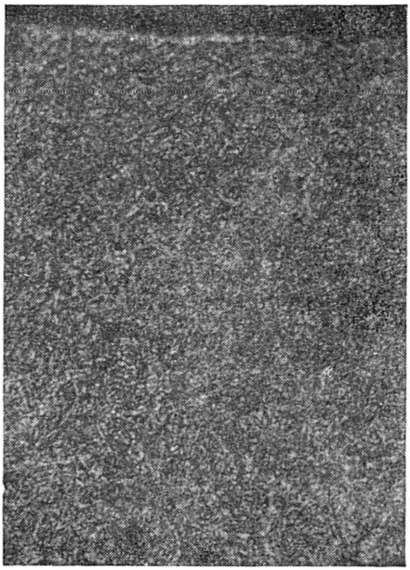
Пользуясь этими формулами, определяем предельные расчетные размеры, которые должны быть получены на предшествующем переходе:

$$a_{\min} = b_{\min} + z_{b_{\min}}; \quad a_{\max} = a_{\min} + \delta_a$$

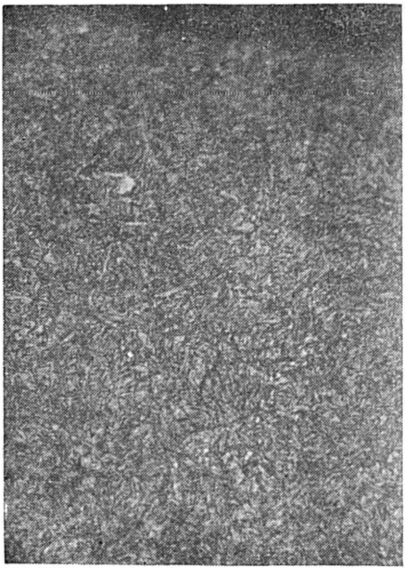
для внешних поверхностей и

$$a_{\max} = b_{\max} - z_{b_{\min}}; \quad a_{\min} = a_{\max} - \delta_a$$

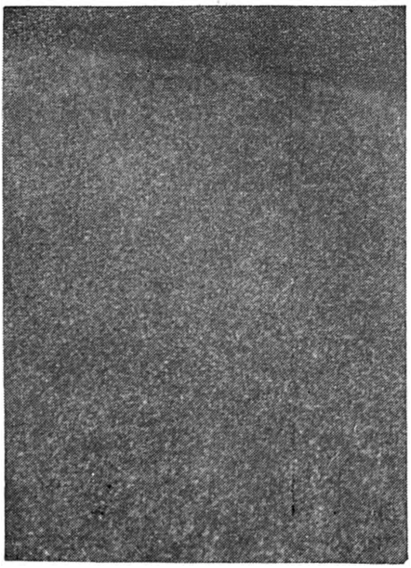
для внутренних поверхностей;



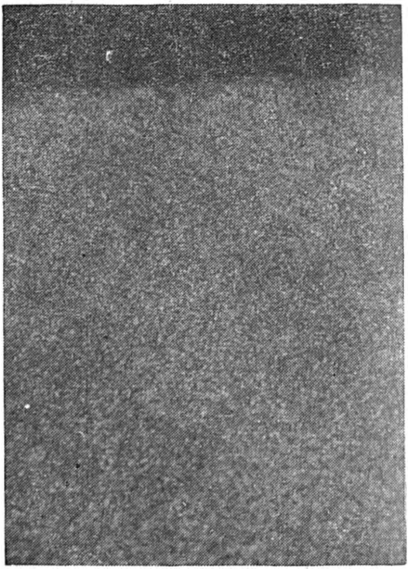
Фиг. 185. Микрошлиф поверхностного слоя после цианирования и закалки.



Фиг. 186. Микрошлиф поверхностного слоя после шлифования образца, показанного на фиг. 183.



Фиг. 187. Микрошлиф поверхностного слоя после шлифования образца, показанного на фиг. 184.



Фиг. 188. Микрошлиф поверхностного слоя после шлифования образца, показанного на фиг. 185.

здесь a_{max} и a_{min} — наибольший и наименьший предельные размеры, относящиеся к смежному предшествующему переходу;

b_{max} и b_{min} — наибольший и наименьший предельные размеры, относящиеся к выполняемому переходу;

δ_a — допуск на размер предшествующего перехода.

Таким образом, исходя из заданного чертежом размера можно определить промежуточные размеры по всем технологическим переходам и предельные размеры черной заготовки.

Расчетные промежуточные размеры по технологическим переходам могут быть также определены исходя из максимальных припусков на обработку; однако в целях упрощения расчет производится исходя из минимальных припусков.

Порядок расчета припусков на обработку и предельных размеров заготовки по технологическим переходам указан в табл. 5[1].

Таблица 5

Порядок расчета промежуточных припусков на обработку и предельных размеров по техническим переходам

Для наружных поверхностей	Для внутренних поверхностей
1. Для обрабатываемой заготовки наметить установочные базы и технологический маршрут обработки. 2. Записать в расчетную карту обрабатываемые элементарные поверхности и последовательный порядок технологических переходов обработки по каждой элементарной поверхности. 3. Записать значения H_a, T_a, ρ_a, ε_b, δ_a. 4. Определить расчетные величины припусков на обработку $z_{b_{min}}$ по всем технологическим переходам	
5. Записать для конечного перехода в графу „Расчетный размер" *наименьший* предельный размер детали по чертежу	5. Записать для конечного перехода в графу „Расчетный размер" *наибольший* предельный размер детали по чертежу
6. Для перехода, предшествующего конечному, определить расчетный размер путем *прибавления к наименьшему* предельному размеру по чертежу расчетного припуска $z_{b_{min}}$	6. Для перехода, предшествующего конечному, определить расчетный размер путем *вычитания из наибольшего* предельного размера по чертежу расчетного припуска $z_{b_{min}}$

[1] Справочные материалы для расчета припусков на обработку см. в Справочнике технолога-машиностроителя, т. I, гл. III, Машгиз, 1956

Продолжение табл. 5

Для наружных поверхностей	Для внутренних поверхностей
7. Последовательно определить расчетные размеры для каждого предшествующего перехода путем *прибавления* к расчетному размеру следующего за ним смежного перехода расчетного припуска $z_{b_{min}}$	7. Последовательно определить размеры для каждого предшествующего перехода путем *вычитания* из расчетного размера следующего за ним смежного перехода расчетного припуска $z_{b_{min}}$
8. Записать *наименьшие* предельные размеры по всем технологическим переходам, округляя их путем *увеличения* расчетных размеров; округление производить до того же знака десятичной дроби, с каким дан допуск на размер для каждого перехода	8. Записать *наибольшие* предельные размеры по всем технологическим переходам, округляя их путем *уменьшения* расчетных размеров; округление производить до того же знака десятичной дроби, с каким дан допуск на размер для каждого перехода
9. Определить *наибольшие* предельные размеры путем *прибавления* допуска к округленному *наименьшему* предельному размеру	9. Определить *наименьшие* предельные размеры путем *вычитания* допуска из округленного *наибольшего* предельного размера
10. Записать предельные значения припусков $z_{b_{max}}$ как разность *наибольших* предельных размеров и $z_{b_{min}}$ как разность *наименьших* предельных размеров *предшествующего и выполняемого переходов*	10. Записать предельные значения припусков $z_{b_{max}}$ как разность *наименьших* предельных размеров и $z_{b_{min}}$ как разность *наибольших* предельных размеров *выполняемого и предшествующего переходов*
11. Определить общие припуски $z_{o_{max}}$ и $z_{o_{min}}$, суммируя промежуточные припуски. 12. Проверить правильность производственных расчетов путем сопоставления разности припусков $z_{b_{max}} - z_{b_{min}}$ и допусков $\delta_a - \delta_b$ по формулам (134) или (135); при этом разность промежуточных припусков должна быть равна разности допусков на промежуточные размеры, а разность общих припусков — разности допусков на размеры черной заготовки и готовой детали.	

Примечания. 1. В связи с разнохарактерностью действий при расчете размеров для наружных и внутренних поверхностей рекомендуется во избежание ошибок при расчетах группировать в расчетной карте наружные и внутренние поверхности, а не записывать их вперемежку.

2. При обработке взаимосвязанных плоских поверхностей от переменных баз рекомендуется строить размерные цепи, определяющие взаимосвязь обрабатываемой поверхности с измерительной базой.

3. При параллельной обработке противолежащих плоских поверхностей (фрезерование плоскостей, подрезание торцов и т. п.) рекомендуется в целях повышения точности обработки уравнивать припуски, удваивая больший из них.

Уместно отметить, что действительные припуски на обработку в партии заготовок будут колебаться в пределах от $z_{b\min}$ до $z_{b\max}$ в зависимости от действительных размеров заготовок. Минимальный припуск на обработку является лишь расчетной величиной и будет соответствовать действительному припуску только при действительном наименьшем предельном размере заготовки; по мере отклонения действительного размера заготовки от наименьшего предельного размера действительный припуск будет соответственно увеличиваться, достигая значения максимального припуска при наибольшем предельном размере заготовки.

§ 2. РАСЧЕТ ПРИПУСКОВ ПРИ ОБРАБОТКЕ СПОСОБОМ ИНДИВИДУАЛЬНОГО ПОЛУЧЕНИЯ РАЗМЕРОВ

Особенности расчета припусков при обработке способом индивидуального получения заданных размеров. Разметка как способ проверки годности черной заготовки и корректирования первоначально установленных припусков на обработку. Расчетные формулы и ориентировочные данные для расчета припусков на обработку. Основы расчетно-аналитического метода определения припусков на обработку.

Расчет припусков при обработке способом индивидуального получения заданных размеров базируется на тех же принципах, которые были положены в основу расчета при способе автоматического получения размеров. Напомним, однако, что при обработке способом индивидуального получения заданных размеров заготовка устанавливается и выверяется относительно рабочих элементов станка; при этом выдерживаемый размер достигается путем пробных промеров после каждой пробной стружки.

Таким образом, погрешность установки ε_b заменяется в расчете припусков при способе индивидуального получения размеров погрешностью выверки ε_B.

При обработке единичной заготовки размер обрабатываемой поверхности не может быть абсолютно одинаковым на всем ее протяжении; он будет колебаться в определенных пределах от наименьшего до наибольшего.

Путем расчета припуска по наименьшему размеру заготовки обеспечивается качественная ее обработка; при отклонении размера от наименьшего снимаемый слой металла будет увеличиваться, достигая наибольшего значения на том участке обрабатываемой поверхности, где ее размер будет наибольшим.

Расчет припусков на обработку единичных заготовок приобретает особое значение в тяжелом машиностроении в связи с тем, что преувеличенные припуски на обработку крупногабаритных заготовок не только резко повышают потери металла в стружку, но также значительно увеличивают длительность процесса обработки. Вместе с тем при обработке крупных заготовок совершенно недопустим брак в результате недостаточных припусков на обработку. Поэтому расчет припусков для крупногабаритных заготовок должен производиться

с запасом надежности получения годной детали и с учетом индивидуальных особенностей как выполнения заготовки, так и последующей ее обработки. При изготовлении уникальных деталей припуски не могут быть установлены на основе предшествующего опыта, и наиболее целесообразно определять их путем предварительного расчета.

Проверка годности черных заготовок производится разметкой, посредством которой определяются действительные погрешности формы и пространственные отклонения черной заготовки. В результате произведенной разметки можно с достаточной для практических целей точностью рассчитать последовательное закономерное уменьшение погрешностей черной заготовки и внести коррективы в первоначально установленные припуски на обдирку, черновую и получистовую обработку.

Предварительный расчет припусков на обработку и их корректировка после изготовления и разметки черной заготовки производится по формулам:

а) для асимметричных припусков при обработке плоских поверхностей по формуле (136)

$$z_{b_{\min}} = (H_a + T_a) + (\rho_a + \varepsilon_B);$$

б) для симметричных припусков при обработке поверхностей вращения по формуле (138)

$$2z_{b_{\min}} = 2\left[(H_a + T_a) + \sqrt{\rho_a^2 + \varepsilon_B^2}\right],$$

где $z_{b_{\min}}$ — минимальный припуск на обработку (на сторону), отнесенный к наименьшему размеру заготовки для наружных поверхностей и к наибольшему размеру заготовки для внутренних поверхностей;

H_a — высота (H_{cp}) поверхностных неровностей;

T_a — глубина дефектного поверхностного слоя;

ρ_a — суммарное значение пространственных отклонений обрабатываемой поверхности;

ε_B — погрешность установки с выверкой заготовки для выполняемой операции.

Значение номинального припуска $z_{b_{ном}}$ определяется по формулам (118), (123), (128) и (133).

В качестве черных заготовок при способе индивидуального получения заданных размеров обычно применяют: а) прокат; б) поковки, изготовляемые свободной ковкой; в) отливки, полученные литьем в земляные формы ручной формовки, включая применение пескодувной набивки.

При мелких сериях применяют поковки, изготовляемые ковкой в подкладных штампах, и отливки, получаемые литьем в земляные формы машинной формовки, а также центробежным литьем.

При расчете припусков на обработку поковок, изготовляемых ковкой в подкладных штампах, можно рекомендовать пользоваться ГОСТом 7505-55, табл. 3 на штампованные поковки третьей группы. Для отливок, получаемых литьем в земляные формы машинной формовки и центробежным литьем, можно пользоваться ГОСТами 1855-55 и 2009-55, табл. 2 или табл. 3 для отливок II или III класса точности, в зависимости от размеров и сложности конфигурации отливок.

Можно рекомендовать также пользоваться следующими данными.

Значения $(H_a + T_a)$ *для черных заготовок.*

Для проката $H_a + T_a = 0{,}3$ *мм*.

Для поковок, изготовляемых свободной ковкой:

Поперечный размер поковки в *мм*	Св. 50 до 180	Св. 180 до 500	Св. 500 до 1000	Св. 1000 до 2000
$H_a + T_a$ в *мм* . . .	2	3	4	5

Для отливок III класса точности:

Наибольший габаритный размер отливки в *мм*	До 500	Св. 500 до 1250	Св. 1250 до 3150	Св. 3150 до 6300	Св. 6300 до 10 000
$H_a + T_a$ в *мм*	0,8	0,9	1,0	1,5	2,0

Для верхней по положению при заливке поверхности $(H_a + T_a)$ увеличивают в целях получения после обработки поверхности заданного качества. Увеличение $(H_a + T_a)$ для верха заготовки в положении при заливке металла в форму колеблется в пределах 0,5—3 *мм* для отливок из серого чугуна и 0,5—7 *мм* для стальных фасонных отливок, в зависимости от их размеров, и определяются по ГОСТам 1855-55 и 2009-55, табл. 5, 6 и 7, в зависимости от класса точности отливки.

Величины пространственных отклонений черных заготовок.

Для проката пространственные отклонения ограничиваются кривизной. ГОСТ 2590-57 допускает местную кривизну до 5 *мм* на 1 *м* длины. Правкой нарезанных в размер заготовок достигают следующих значений удельной кривизны:

Диаметр прутка в *мм*	До 30	30—80	Св. 80
Удельная кривизна $\Delta_к$ в *мм/м* .	1,0	0,8	0,5

При обработке круглого проката в центрах погрешность зацентровки $\rho_ц$ проката определяется по формуле (142).

Для поковок, изготовляемых свободной ковкой, основными пространственными отклонениями являются: кривизна для валов, брусьев, балок, плит и дисков; отклонение от соосности ступеней у ступенчатых валов; эксцентричность наружных поверхностей относительно прошитого отверстия у дисков, муфт, цилиндров и других заготовок с прошитыми отверстиями.

Общую кривизну $\rho_{ко}$ для проката и черных поковок для валов, брусьев и балок определяют по формуле

$$\rho_{ко} = \Delta_к L,$$

где $\Delta_к$ — удельное значение кривизны в *мм/м* (на 1 *м* длины),
L — общая длина заготовки из проката или общая длина поковки в *м*.

При обработке ступенчатых валов, балок с площадками и других аналогичных деталей возникает необходимость определения местной кривизны на участке ступени или площадки; в этом случае пользуются формулой (83):

$$\rho_{км} = \Delta_к 2l_к.$$

где $l_к$ — расстояние от сечения, для которого определяется кривизна, до ближайшего торца; при этом удельная кривизна для валов, брусьев и балок $\Delta_к = 0{,}4 \div 1{,}0$ *мм/м*, в зависимости от жесткости поковки.

При обработке заготовок для валов, изготовляемых свободной ковкой, зацентровка производится обычно по разметке; в этом случае $\rho_ц = 0{,}25\ \delta_{заг}$, где $\delta_{заг}$ — допуск на диаметральный размер наибольшей ступени черной заготовки.

Отклонение от соосности ступеней у поковок для ступенчатых валов с достаточной для практических целей точностью можно принимать равным 0,25 допуска на диаметральный размер смежной большей ступени. Наибольшее отклонение от соосности ступеней вала $\rho_{ст}$ можно определить по формуле

$$\rho_{ст} = 0{,}25\delta_{max},$$

где δ_{max} — допуск на размер ступени наибольшего диаметра.

Суммирование кривизны $\rho_{ко}$ и отклонения от соосности ступеней вала $\rho_{ст}$ производится по правилу квадратного корня:

$$\rho_а = \sqrt{\rho_{ко}^2 + \rho_{ст}^2}.$$

Общая кривизна $\rho_{ко}$ плит и дисков учитывается при расчете припусков на обработку основных плоскостей этих деталей (плоскостей по высоте плиты, торцовых поверхностей дисков) и определяется по формуле

$$\rho_{ко} = \Delta_к L$$

или

$$\rho_{ко} = \Delta_к D,$$

где $\Delta_к$ — значение удельной кривизны в *мм/м*;
L — длина пластины или плиты в *м*;
D — диаметр диска в *м*.

Удельная кривизна для пластин, плит и дисков $\Delta_к = 1 \div 3$ *мм/м*, в зависимости от жесткости заготовки.

Эксцентричность прошитых при свободной ковке отверстий относительно наружных поверхностей $\rho_{эксц}$ может быть принята равной 0,25 допуска $\delta_д$ на размер прошитого отверстия.

Допуск на размер прошитого отверстия определяется по формуле

$$\delta_d = 0{,}7\,(d - d_{пр}), \qquad (143)$$

где d — диаметр обработанного отверстия (размер по чертежу детали);

$d_{пр}$ — диаметр прошивня.

Диаметры прошивней в зависимости от диаметральных размеров обработанных отверстий принимают по ГОСТу 7062-54[1].

Для литых заготовок коробление отливок и смещение стержней, образующих отверстия и внутренние поверхности, являются основными видами пространственных отклонений. Коробление черной заготовки $\rho_{кор}$ определяется по формуле (86):

$$\rho_{кор} = \Delta_{кор} L,$$

где $\Delta_{кор}$ — удельное значение коробления в *мм/м*;

L — наибольший размер обрабатываемой поверхности в *м*.

Для литых заготовок удельное значение коробления достигает величин: $\Delta_{кор} = 0{,}7 \div 3$ *мм/м* для плит и дисков и $\Delta_{кор} = 0{,}7 \div 1{,}0$ *мм/м* для корпусных деталей в зависимости от жесткости заготовки.

При расчете припусков на обработку литых заготовок, имеющих отверстия, необходимо учитывать смещение оси отверстия относительно координирующих поверхностей. Величина смещения $\rho_{см}$ принимается равной допуску по номинальному размеру, равному расстоянию оси отверстия до измерительной базы (ГОСТы 1855-55 и 2009-55, табл. 3). При базировании по черному отверстию $\rho_{см}$ учитывается в припуске на обрабатываемую поверхность. При обработке черного отверстия от координированной с ним базовой поверхности значение $\rho_{см}$ должно быть учтено в припуске на обработку отверстия.

Определение погрешностей установки заготовок для обработки на станках. При закреплении черного проката в самоцентрирующем трехкулачковом патроне смещение геометрической оси заготовки принимают по данным, приведенным в приложении 1 в.

Погрешность выверки ε_B черных поковок свободной ковки и отливок 3-го класса точности, закрепляемых в патроне или на планшайбе, достигает при диаметре: свыше 180 до 500 *мм* $\varepsilon_B = 1$ *мм*, свыше 500 до 1000 *мм* $\varepsilon_B = 2$ *мм* и выше 1000 до 2000 *мм* $\varepsilon_B = 3$ *мм*.

Погрешность установки заготовок с выверкой на столе станка по разметке достигает при размере заготовки: до 3 *м* $\varepsilon_B = \pm 0{,}5$ *мм*, свыше 3 до 6 *м* $\varepsilon_B = \pm 1{,}0$ *мм* и свыше 6 *м* $\varepsilon_B = \pm 1{,}5$ *мм*. С выверкой по обработанным плоскостям при размере заготовки до 3 *м* $\varepsilon_B = \pm 0{,}1$ *мм*, свыше 3 до 6 *м* $\varepsilon_B = \pm 0{,}2$ *мм* и свыше 6 *м* $\varepsilon_B = \pm 0{,}3$ *мм*[2].

---

[1] Поковки из углеродистой и легированной стали, изготовляемые свободной ковкой на прессах, Стандартгиз, 1954.

[2] См. приложение 2.

Суммирование пространственных отклонений и погрешности установки. В соответствии с формулой (136) при обработке плоских поверхностей неперпендикулярность $\rho_{неп}$ и коробление $\rho_{кор}$ суммируются с погрешностью установки ε_B арифметически.

В соответствии с формулой (138) при обработке поверхностей вращения пространственные отклонения суммируются с погрешностью установки по правилу квадратного корня:

$$\sqrt{\rho_a^2 + \varepsilon_B^2}; \quad \sqrt{\rho_{эксц}^2 + \varepsilon_B^2}.$$

Допуски на размеры черных заготовок принимают для круглого проката по ГОСТу 2590-57, для других профилей проката — по соответствующим стандартам.

Для поковок, изготовляемых свободной ковкой по ГОСТу 7062-54, предельные размеры прошиваемых отверстий и диаметры прошивней принимают по этому же ГОСТу, для фасонных стальных отливок — по ГОСТу 2009-55, табл. 3, для отливок из серого чугуна (в том числе и модифицированного) — по ГОСТу 1855-55, табл. 3.

Значения погрешностей при обработке заготовок на металлорежущих станках. При расчете припусков на обработку проката рекомендуется принимать: для черновой обработки 7—5-й класс точности и 2—3-й класс чистоты, для получистовой обработки 5—4-й класс точности и 3—5-й класс чистоты, для чистовой обработки 4—3а классы точности и 5-й класс чистоты.

При обработке поковок, изготовляемых свободной ковкой, применяют обдирку по 11—10-му классу точности (ГОСТ 2689-54), черновую обработку — по 9—8-му классу точности, получистовую обработку — по 7—5-му классу точности и чистовую обработку — по 4—3а классу точности.

Если после обдирки остается чернота, то $(H_a + T_a)$, принимают по черной заготовке, при отсутствии черноты 1-й класс чистоты, после черновой и получистовой обработки 1—2-й класс и после чистовой обработки 4—5-й класс чистоты поверхности.

При обработке отливок 3-го класса точности принимают для обдирки 10—9-й, для черновой 8—7-й, для получистовой 7—5-й и для чистовой обработки 4—3а классы точности и соответственно 1, 1—2, 2—4 и 5—6-й классы чистоты.

При выдерживании размеров от черных измерительных баз допуск определяется по формуле

$$\delta = \frac{\delta_{заг} + \delta_{обр}}{2}, \qquad (144)$$

где $\delta_{заг}$ — допуск на размер черной заготовки;

$\delta_{обр}$ — допуск, выдерживаемый при обработке от чистой базы для того же размера.

При обработке серого чугуна и цветных сплавов после первого перехода механической обработки принимать $T_a = 0$.

Независимо от исходной заготовки тонкая обработка лезвийным инструментом обеспечивает 3—2а класс точности и 7—8-й класс чистоты поверхности.

В условиях обработки способом индивидуального получения заданных размеров производят однократное шлифование в два перехода (предварительное и чистовое) без смены шлифовального круга. Тонкое шлифование выполняется кругами с увеличенным номером зернистости. При предварительном шлифовании снимают приблизительно 70% и при чистовом 30% припуска на шлифование.

Шлифованием получают 3—2-й класс точности и 6—8-й класс чистоты. Тонкое шлифование обеспечивает 2 и 1-й классы точности и 8—10-й класс чистоты поверхности.

Остаточные пространственные отклонения после каждого прохода инструмента определяется по формулам (52) или (52а).

При определении припусков под выполняемый технологический переход необходимо для крупногабаритных единичных заготовок учитывать пространственные отклонения, возникшие на предшествующем переходе в результате геометрических погрешностей станка. Эти вновь возникающие в процессе обработки пространственные отклонения и образующиеся одновременнно с ними остаточные пространственные отклонения либо накладываются одно на другое, либо взаимно компенсируются в той или иной степени. Поэтому суммирование вновь возникающих и остаточных пространственных отклонений производится алгебраически, т. е. с учетом знака.

Примером накладывающихся одно на другое пространственных отклонений при обработке основной плоскости плиты служит остаточное ее коробление и приращение размера у одного из концов по длине плиты в результате вновь возникающей вследствие геометрической погрешности станка непараллельности ее базовой поверхности. Результат этих пространственных отклонений определяется их суммой. Рассчитав величину остаточного коробления по формуле (52) или (52а) и приращение размера в результате геометрической погрешности станка, создающей непараллельность обработанной плоскости базовой поверхности, по формуле (54) и сложив эти две величины, получим результативную погрешность, которая должна быть учтена при расчете припуска на последующую обработку.

Примером взаимно компенсирующихся в той или иной степени пространственных отклонений при подрезании торца вала могут служить остаточная его выпуклость как результат скосов отруба с углом α (фиг. 189), и вогнутость торцовой поверхности, возникающая в результате неперпендикулярности поперечного перемещения суппорта к оси вращения станка.

Для расчета остаточной неперпендикулярности торца к оси вала пользуются формулой (52) и принимают угол скоса отруба у черной заготовки $\alpha \leqslant 20°$.

При расчете припусков на переходы, выполняемые после термической обработки, необходимо учитывать кривизну, возникшую

в результате термообработки. Удельное значение кривизны принимают:

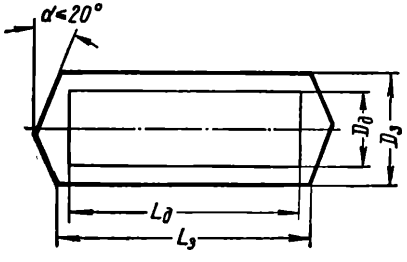
а) для проката при диаметре прутка до 30 *мм* $\Delta_к = 0{,}5$ *мм/м*; свыше 30 до 80 *мм* $\Delta_к = 0{,}4$ *мм/м* и свыше 80 *мм* $\Delta_к = 0{,}3$ *мм/м*;

б) для поковок, изготовляемых свободной ковкой $\Delta_к = 0{,}3 \div 0{,}5$ *мм/м* в зависимости от жесткости детали.

Погрешности установки при закреплении заготовки в самоцентрирующем трехкулачковом патроне предварительно обработанной поверхностью достигают:

Диаметр закрепляемой поверхности в *мм*	До 50	Св. 50 до 120	Св. 120 до 260	Св. 260 до 500
Погрешность установки ε_B в *мм*	0,1	0,15	0,20	0,25

При закреплении заготовки чисто обработанной поверхностью погрешность установки уменьшается вдвое.



Фиг. 189. Скосы отруба у поковки, изготовляемой свободной ковкой; $D_з$ и $L_з$, $D_д$ и $L_д$ — соответственно диаметр и длина поковки и готовой детали.

Погрешность выверки по обработанной поверхности ε_B на токарных станках колеблется в пределах 0,03—0,5 *мм* в зависимости от способа крепления [1].

При установке заготовок с выверкой на столе станка принимают ранее указанные величины погрешности выверки, приведенные в приложении 2.

В качестве примеров произведем несколько расчетов.

Пример 1. Требуется обработать гладкий вал с размерами по чертежу: диаметр $D = 350_{-0{,}215}$ и длина $L = 3000$ *мм*.

Минимальный припуск на предварительную обработку такого вала определим по формуле (138):

$$2z_{b\,\min} = 2\left[(H_a + T_a) + \sqrt{\rho_a^2 + \varepsilon_B^2}\right]$$

Принимаем $H_a + T_a = 3$ *мм* (стр. 295). Кривизна черной заготовки

$$\rho_{ко} = \Delta_к L = 0{,}8 \cdot 3 = 2{,}4 \text{ мм (стр. 295).}$$

Погрешность зацентровки

$$\rho_ц = 0{,}25\delta = 0{,}25 \cdot 20 = 5 \text{ мм}$$

(значение δ принято по ГОСТу 7062-54)

Суммарное значение

$$\rho_a = \sqrt{2{,}4^2 + 5^2} = 5{,}55.$$

[1] См Справочник технолога-машиностроителя, т. I, табл. 34. Машгиз, 1956, стр. 303.

При установке заготовки для обработки на станке вал закрепляется одним концом в патроне, а другой конец поддерживается центром задней бабки. Погрешность установки при этих условиях определяется погрешностью выверки при закреплении переднего конца вала в патроне.

Погрешность выверки ε_B при закреплении переднего конца вала в патроне принимаем $\varepsilon_B = 1$ *мм*.

Таким образом, припуск на предварительную обработку

$$2z_{b_{\min}} = 2\,(3 + \sqrt{5{,}55^2 + 1^2}) \approx 17{,}3 \text{ мм}.$$

При таком припуске целесообразно предварительную обработку расчленить на черновую с припуском по диаметру 12 *мм* и получистовую с припуском 5,3 *мм* (на черновую берем 0.7 и на получистовую отставляем 0,3 общего припуска).

Остаточную кривизну определим по формуле (52):

$$\rho_{ост} = W_{сист} A\,[t^x - (t - \rho_{ко})^x.$$

Учитывая, что наибольшая податливость заготовки вала не превышает 0,04 *мк/кг* принимаем

$$W_{сист} = W_{ст} + W_{заг} = 1 \text{ мк/кг}.$$

При черновой и получистовой обработке получаем

$$A = C_y s^y H_B^n = 0{,}0027 \cdot 2^{0{,}75} \cdot 200^2 \approx 181{,}5.$$

Приняв припуск по диаметру на черновую обработку 12 *мм*, получаем глубину резания $t = 6$ *мм* и, следовательно,

$$\rho'_{ост} = 1 \cdot 181{,}5\,[6^{0{,}9} - (6 - 5{,}55)^{0{,}9}] = 0{,}264 \text{ мм}.$$

Коэффициент уточнения при черновой обработке

$$K'_{ут} = \frac{0{,}264}{5{,}55} \approx 0{,}05.$$

Остаточная погрешность установки

$$\varepsilon'_{B_{ост}} = K'_y \varepsilon_B = 0{,}05 \cdot 1 = 0{,}05 \text{ мм}.$$

После получистовой обработки получим

$$\rho'_{ост} = 1 \cdot 181{,}5\,[2{,}65^{0{,}9} - (2{,}65 - 0{,}26)^{0{,}9}] \approx 53 \text{ мк};$$

$$K''_{ут} = \frac{53}{264} = 0{,}2;$$

$$\varepsilon''_{B_{ост}} = 0{,}2 \cdot 0{,}05 = 0{,}001 \text{ мм}.$$

Учитывая деформацию заготовки вала в связи с перераспределением внутренних напряжений вследствие удаления верхнего напряженного слоя, принимаем для последующей обработки полученное значение $\rho'_{ост}$ с коэффициентом 2.

Припуск на чистовую обработку

$$2z_{b_{\min}} = 2\left[(50 + 50) + \sqrt{(2 \cdot 53)^2 + 1^2}\right] = 413 \approx 0{,}41 \text{ мм}.$$

Общий припуск на обработку

$$z_{o_{\min}} = 12 + 5{,}3 + 0{,}41 = 17{,}71 \text{ мм}.$$

Номинальный припуск на обработку такого вала по ГОСТу 7062-54 $2z_{ном} = 28$ *мм*. Пересчитав расчетный минимальный припуск на номинальный по формуле (128), получаем

$$2z_{o_{ном}} = 2z_{o_{\min}} + H_з - H_д = 17{,}71 + 10 - 0{,}215 \approx 27{,}5 \text{ мм};$$

в данном случае получилась хорошая сходимость расчетного припуска с припуском по ГОСТу 7062-54.

Пример 2. Требуется обработать диск диаметром $D = 750_{-0,5}$ *мм* высотой $H = 250_{-0,3}$ *мм*, с центральным отверстием диаметром $d = 250^{+0,185}$ *мм*. Заготовка получена свободной ковкой.

Для расчета припуска на предварительную обработку принимаем $H_a + T_a = 4$ *мм* (стр 295).

Эксцентричность наружной поверхности относительно прошитого отверстия

$$\rho_{эксц} = 0{,}25\delta_d; \quad \delta_d = 0{,}7\,(250 - 200) = 35 \text{ мм}$$

$$\rho_{эксц} = 0{,}25 \cdot 35 \approx 9 \text{ мм}.$$

В связи с тем, что установка производится с выверкой по наружной поверхности и отверстию, это пространственное отклонение распределяем между наружной поверхностью и отверстием по 4,5 *мм*.

Погрешность установки заготовки с выверкой на планшайбе принимаем $\varepsilon_B = 2$ *мм* (стр. 297).

Для наружной поверхности получаем припуск на предварительную обработку:

$$2z_{b_{\min}} = 2\left[4 + \sqrt{4{,}5^2 + 2^2}\right] = 17{,}8 \approx 18 \text{ мм}.$$

Для расчета припуска под чистовую обработку определим остаточное пространственное отклонение $\rho_{ост}$ и остаточную погрешность установки с выверкой после черновой обработки. Принимая податливость станка $W_{ст} = 1$ *мк/кг* и полученное в первом примере значение $A = 181{,}5$, находим

$$\rho_{ост_{эксц}} = 1 \cdot 181{,}5\left[9^{0,9} - (9 - 4{,}5)^{0,9}\right] = 608 \text{ мк} \approx 0{,}61 \text{ мм}.$$

Коэффициент уточнения

$$K_у = \frac{0{,}61}{4{,}5} = 0{,}136.$$

$$\varepsilon_{B_{ост}} = 0{,}136 \cdot 2 = 0{,}272 \text{ мм} \approx 0{,}27 \text{ мм}.$$

После черновой обработки принимаем $H_a + T_a = 0{,}4$ *мм*.

Таким образом, припуск на чистовую обработку

$$2z_{b_{\min}} = 2\left[0{,}4 + \sqrt{0{,}61^2 + 0{,}27^2} = 2{,}2 \text{ мм}.\right.$$

Общий припуск на обработку наружной поверхности вращения

$$2z_{b_{\min}} = 18 + 2{,}2 = 20{,}2 \text{ мм}.$$

Припуск на предварительную обработку торцовых поверхностей

$$z_{b_{\min}} = (H_a + T_a) + (\rho_{кор} + \varepsilon_B) = 4 + (2{,}25 + 2) \approx 8{,}3 \text{ мм};$$

$$\rho_{кор} = \Delta_{кор} D = 3 \cdot 0{,}75 = 2{,}25 \text{ мм}.$$

В целях уменьшения остаточного коробления у обработанного диска производим черновую обработку с припуском 6 *мм* и получистовую обработку с припуском 2,3 *мм*.

После черновой обработки получаем

$$\rho'_{ост} = 1 \cdot 181{,}5\,[6^{0{,}9}(6 - 2{,}25)^{0{,}9}] \approx 309 \text{ мк} \approx 0{,}31 \text{ мм};$$

$$K'_{ут} = \frac{0{,}31}{2{,}25} = 0{,}138;$$

$$\varepsilon'_{Bост} = 0{,}138 \cdot 2 = 0{,}276 \approx 0{,}28 \text{ мм}.$$

После получистовой обработки получим

$$\rho''_{ост} = 1 \cdot 181{,}5\,[2{,}3^{0{,}9} - (2{,}3 - 0{,}31)^{0{,}9}] = 45 \text{ мк};$$

$$K''_{ут} = \frac{45}{309} = 0{,}146;$$

$$\varepsilon_{Bост} = 0{,}146 \cdot 0{,}28 = 0{,}0409 \text{ мм} \approx 40 \text{ мк}.$$

При расчете припуска под чистовую обработку, для компенсации остаточного коробления и деформации диска в связи с нарушением равновесного состояния внутренних напряжений вследствие удаления верхних напряженных слоев металла, при черновой и получистовой обработке удваиваем остаточное пространственное отклонение $\rho''_{кор}$:

$$\rho_a = 2\rho''_{кор} = 2 \cdot 45 = 90 \text{ мк}.$$

Припуск на чистовую обработку

$$z_{b\min} = (100 + 100) + (90 + 40) = 330 \text{ мк}.$$

Общий припуск на обработку каждого торца (на сторону)

$$z_{o\min} = 6 + 2{,}3 + 0{,}33 = 8{,}63 \approx 9 \text{ мм}.$$

Припуск на предварительную обработку отверстия

$$2z_{b_{\min}} = 2\left[(H_a + T_a) + \sqrt{\rho^2_{эксц} + \varepsilon^2_B}\right] = 2\left(4 + \sqrt{4{,}5^2 + 2^2}\right) = 17{,}8 \approx 18 \text{ мм}.$$

При полученном расчетном припуске целесообразно разделить его на черновую и получистовую обработку в следующем соотношении: $0{,}7 \cdot 18 \approx 13$ *мм* на черновую обработку и $0{,}3 \cdot 18 \approx 5$ *мм* — на получистовую.

После черновой обработки получим

$$\rho'_{эксц} = 1 \cdot 181{,}5\,[6{,}5^{0{,}9} - (6{,}5 - 4{,}5)^{0{,}9}] \approx 640 \text{ мк} \approx 0{,}64 \text{ мм}.$$

Следовательно, при черновой обработке коэффициент уточнения

$$K'_{ут} = \frac{0{,}64}{4{,}5} = 0{,}14.$$

Пользуясь коэффициентом уточнения, получим

$$\varepsilon_{Bост} = K''_{ут}\varepsilon_B = 0{,}14 \cdot 2 = 0{,}28 \text{ мм}.$$

После получистовой обработки получим

$$H_a + T_a = 0{,}2 \text{ мм}$$

$$\rho''_{эксц} = 1 \cdot 181{,}5\,[2{,}5^{0{,}9} - (2{,}5 - 0{,}64)^{0{,}9}] \approx 91 \text{ мк}.$$

Коэффициент уточнения при получистовой обработке

$$K'_{ут} = \frac{91}{640} = 0{,}14.$$

Остаточная погрешность установки

$$\varepsilon''_B = 0{,}14 \cdot 0{,}28 = 0{,}04 \text{ мм}.$$

Припуск на чистовую обработку

$$2z_{b_{\min}} = 2\left[(100 + 100) + \sqrt{91^2 + 40^2}\right] = 607 \text{ мк} \approx 0{,}61 \text{ мм}.$$

Общий припуск на обработку отверстия

$$z_{o_{\min}} = 13 + 5 + 0{,}6 = 18{,}6 \text{ мм}.$$

Для сопоставления расчетных припусков с припусками на обработку такого диска по ГОСТу 7062-54 пересчитаем минимальные припуски на номинальные:

а) для наружной поверхности вращения

$$2z_{o_{ном}} = 20{,}2 + 10 - 0{,}5 \approx 30 \text{ мм};$$

по ГОСТу 7062-54 припуск по диаметру 31 *мм*, т. е. всего на 1 *мм* больше, следовательно, получена хорошая сходимость;

б) для торцовых поверхностей

$$2z_{o_{ном}} = 2 \cdot 9 + 10 - 0{,}3 \approx 28 \text{ мм};$$

по ГОСТу 7062-54 припуск 30 *мм* (см табл. 5 и чертеж 13), т. е. на 2 *мм* больше по высоте H (по 1 *мм* на сторону);

в) для центрального отверстия

$$2z_{o_{ном}} = 18{,}6 + 18 - 0 = 36{,}6 \text{ мм} \approx 37 \text{ мм};$$

по ГОСТу 7062-54 для прошивки отверстия диаметром 250 *мм* применяют нормальный диаметр прошивня $d_{пр} = 200$ *мм*, что обеспечивает достаточный для заданных условий припуск на обработку. Таким образом, можно отметить хорошую сходимость расчетных припусков с припусками по ГОСТу 7062-54.

Пример 3. Рассчитаем припуск на обработку верхней плоскости корпусной детали высотой 400 *мм*, шириной 350 *мм* и длиной 800 *мм*, отлитой из серого чугуна.

Принимаем $H_a + T_a = 0{,}9$ *мм* (стр. 295).

Коробление черной заготовки по обрабатываемой верхней плоскости

$$\rho_{кор} = \Delta_{кор} L = 1 \cdot 0{,}8 = 0{,}8 \text{ мм} \text{ (стр. 297)}.$$

Погрешность установки заготовки для обработки на станке с выверкой по разметке $\varepsilon_B = 1$ *мм* (приложение 2).

По положению при заливке обрабатываемая поверхность является низом. При окончательной обработке плоскости должен быть выдержан размер $H = 400_{-0{,}25}$ *мм*.

Припуск на предварительную обработку

$$z_{b_{\min}} = 0{,}9 + (0{,}8 + 1) = 2{,}7 \text{ мм}.$$

Этот припуск снимаем при черновой обработке.

Для расчета припуска под чистовую обработку принимаем $H_a = 150$ *мк*. Остаточное коробление $\rho_{ост}$ после черновой обработки определяем по формуле (51а); при этом примем $W_{ст} = 1$ *мк/кг* и подсчитаем коэффициент A:

$$A = 0{,}13 \cdot 2^{0{,}75} \cdot 200^{1{,}3} = 214{,}2;$$

тогда имеем

$$\rho_{ост} = 1 \cdot 214{,}2\,[2{,}7^{0,9} - (2{,}7 - 0{,}8)^{0,9}] \approx 177 \text{ мк}.$$

Учитывая деформацию заготовки в связи с нарушением равновесного состояния внутренних напряжений вследствие удаления верхнего напряженного слоя при черновой обработке, принимаем $\rho_{ост}$ с коэффициентом 2.

Погрешность выверки перед чистовым строганием $\varepsilon_B = 0{,}2$ *мм* (приложение 2).

Припуск на чистовое строгание

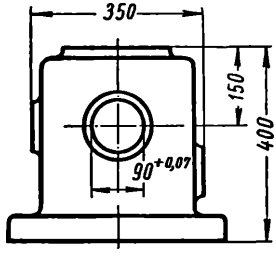
$$2z_{b\,min} = 150 + (2 \cdot 177 + 200) = 704 \text{ мк} = 0{,}7 \text{ мм}.$$

Общий припуск на обработку верхней плоскости

$$z_{o\,min} = 2{,}7 + 0{,}7 = 3{,}4 \text{ мм};$$

$$z_{o\,ном} = 3{,}4 + 3 - 0{,}25 \approx 6{,}15 \text{ мм} \approx 6{,}2 \text{ мм}.$$

ГОСТ 1855-55 предусматривает для отливок III-го класса точности (табл. 7) припуск 7 *мм*, т. е. на 0,8 *мм* больше расчетного, что можно считать достаточно хорошей сходимостью. Вместе с тем следует отметить, что полученный расчетом припуск совершенно достаточен для выполнения качественной обработки.



Фиг. 190. К расчету припуска на обработку литого отверстия в корпусной детали

Пример 4. Рассчитаем припуск на обработку в той же корпусной детали литого отверстия диаметром $90^{+0,07}$ *мм*, координированного размером 150 *мм* от верхней плоскости и находящегося на оси симметрии корпусной детали (фиг. 190).

Припуски на обработку определяем по формуле (138):

$$2z_{b\,min} = 2\left[(H_a + T_a) + \sqrt{\rho_a^2 + \varepsilon_B^2}\right]$$

Для расчета припуска на предварительную обработку принимаем $H_a + T_a = 0{,}9$ *мм* (стр. 295).

Смещение оси отверстия определяем в зависимости от координирующих его размеров по допускаемым отклонениям на размеры отливок (ГОСТ 1855-55, табл. 3):

$$\rho_{см} = \sqrt{\rho_{150}^2 + \rho_{175}^2} = \sqrt{2{,}2^2 + 2{,}2^2} \approx 3{,}1 \text{ мм}.$$

Погрешность установки с выверкой по разметке $\varepsilon_B = 1$ *мм* (приложение 2)

Припуск на предварительную обработку

$$2z_{b\,min} = 2\,(0{,}9 + \sqrt{3{,}1^2 + 1^2}) \approx 8{,}3 \text{ мм}.$$

Для расчета припуска под чистовую обработку принимаем $H_a = 150$ *мк*, $A = 214{,}2$ (см. пример 3).

Определим остаточное смещение $\rho_{ост}$ и остаточную погрешность установки с выверкой $\varepsilon_{B_{ост}}$:

$$\rho_{ост} = 1 \cdot 214{,}2\,[4{,}15^{0,9} - (4{,}15 - 3.1)^{0,9}] \approx 532 \text{ мк}.$$

Коэффициент уточнения при черновой обработке

$$K'_{ут} = \frac{532}{3100} \approx 0{,}17;$$

$$\varepsilon'_{B_{ост}} = 0{,}17 \cdot 1 = 0{,}17 \text{ мм}.$$

Припуск на чистовое растачивание

$$2z_{b_{min}} = 2\,(150 + \sqrt{532^2 + 170^2}) = 1460 \text{ мк} \approx 1{,}5 \text{ мм}.$$

После чистового растачивания имеем $H_a = 20$ *мк*.
При чистовом растачивании находим

$$A = 0{,}13 \cdot 0{,}1^{0{,}75} \cdot 200^{1{,}3} = 16{,}1.$$

Следовательно, после чистового растачивания получим

$$\rho''_{ост} = 1 \cdot 16{,}1\,[0{,}75^{0{,}9} - (0{,}75 - 0{,}532)^{0{,}9}] \approx 9 \text{ мк};$$

$$K''_{ут} = \frac{9}{532} \approx 0{,}017;$$

$$\varepsilon_{B_{ост}} = 0{,}017 \cdot 0{,}17 = 0{,}003 = 3 \text{ мк}.$$

Припуск под окончательную обработку тонким растачиванием.

$$2z_{b_{min}} = 2(20 + \sqrt{9^2 + 3^2}) \approx 60 \text{ мк}.$$

Общий припуск на обработку

$$2z_{o_{min}} = 8{,}3 + 1{,}5 + 0{,}06 = 9{,}86 \text{ мм};$$

$$2z_{o_{ном}} = 9{,}86 + 1{,}8 - 0{,}07 = 11{,}59 \text{ мм} \approx 12 \text{ мм}.$$

Сопоставляя расчетный припуск с припуском по ГОСТу 1855-55, находим достаточно близкую сходимость расчетного припуска с припуском по ГОСТу.

Мы рассмотрели методику расчета припусков при обработке способами автоматического и индивидуального получения размеров. Заканчивая главу, посвященную расчету припусков, следует остановиться на вопросе определения припусков на обработку деталей машин в сборе, т. е. на расчете припусков на обработку собранных узлов изделий.

В современном машиностроении широко применяется обработка деталей машин в сборе. В частности, обрабатываются отверстия для опор в корпусных деталях после сборки корпуса с крышкой, отверстие головки шатуна с крышкой в сборе и другие элементарные поверхности собранных узлов машин.

В ряде случаев обработка поверхностей собранных узлов производится в целях ликвидации погрешностей, возникших в процессе сборки.

Подвергаются обработке втулки после запрессовки их в корпусные и другие детали в целях ликвидации последствий деформации (усадки отверстия), возникшей при запрессовке втулки.

Величина припусков на обработку поверхностей деталей машин, входящих в собранный узел, должна определяться помимо известных нам уже факторов, с учетом погрешностей сборки.

Методика расчета припусков на обработку поверхностей собранных узлов машин еще не разработана и упоминается нами здесь в порядке предварительного ознакомления с постановкой задачи.

ТРЕБОВАНИЯ, ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫЕ ТЕХНОЛОГИЕЙ ПРОИЗВОДСТВА К КОНСТРУКТИВНОМУ ОФОРМЛЕНИЮ ДЕТАЛЕЙ И УЗЛОВ МАШИН

§ 1. ТРЕБОВАНИЯ, ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫЕ ТЕХНОЛОГИЕЙ СБОРКИ МАШИН К КОНСТРУКТИВНОМУ ОФОРМЛЕНИЮ ИХ ЭЛЕМЕНТОВ

Основные требования, обусловливающие возможность построения высокопроизводительных процессов узловой и общей сборки с применением средств механизации и автоматизации.

Штампо-сварные элементы машин, их преимущества и особенности. Технологическая классификация сварных элементов машин. Общие технологические требования, предъявляемые к конструктивному оформлению сварных элементов машин.

Конструкция машины диктуется ее назначением и условиями эксплуатации. Совершенство конструкции определяется ее экономичностью и соответствием современному уровню техники. Вместе с тем при конструктивном оформлении машины и ее элементов должны быть учтены технологические требования производства. Эти требования обусловливают возможность использования высокопроизводительных технологических методов и процессов производства, применительно к заданному количественному выпуску машин и условиям производства.

Степень соответствия конструкции машин этим требованиям и определяет ее технологичность.

Основные требования, обусловливающие возможность построения высокопроизводительных процессов сборки, можно установить на основе следующих соображений.

Одним из технологических преимуществ конструкции машины является возможность ее сборки из предварительно собранных узлов; в этом случае возможна параллельная сборка узлов и изделия и длительность цикла общей сборки при наличии предварительно собранных узлов значительно сокращается.

Таким образом, весьма существенное технологическое преимущество будем иметь в том случае, когда механизмы изделия, определяемые функциональным их назначением, являются одновременно технологическими его узлами, т. е. элементами изделия, которые могут быть собраны обособленно и независимо от других

его элементов. Такой узел подается на общую сборку изделия или узла высшего порядка собранным и прошедшим технический контроль, включая, если это требуется, испытание. В этих условиях значительно проще предотвратить появление дефектов на общей сборке и сборка будет более качественной.

Вместе с тем такая конструкция изделия не только дает возможность производить сборку широким фронтом (т. е. вести параллельную сборку узлов машины с общей ее сборкой), но и значительно ускоряет проектирование технологических процессов сборки, которое в этих условиях могут вести, также широким фронтом по отдельным элементам изделия, параллельно несколько технологов-сборщиков.

В тех случаях, когда в собираемую машину или ее узел входят не узлы, а комплекты, т. е. элементы, предварительно собранные, но требующие разборки и повторной сборки в собираемом узле или машине, время на выполнение сборочной операции значительно увеличивается, что в ряде случаев затрудняет синхронизацию сборочных операций при поточной сборке. При сборке механизмов, конструктивно оформленных из отдельных деталей, соединяемых в процессе общей сборки, возникает необходимость проверки правильности соединений и соответствующей их регулировки в процессе общей сборки, что также приводит к увеличению времени выполнения сборочных операций и затрудняет их синхронизацию. Такие конструкции ограничивают фронт работ и увеличивают длительность цикла сборки.

Изложенные соображения подтверждают технологические преимущества изделий и узлов, конструктивное оформление которых предусматривает возможность расчленения сборочного процесса на узловую и общую сборку. Особое значение это приобретает в условиях поточной сборки; однако следует иметь в виду, что и в условиях единичного производства возможность расчленения сборочного процесса на узловую и общую сборку сохраняет все рассмотренные нами технологические преимущества.

Использование в максимально возможной степени стандартных деталей и узлов позволяет получать их со стороны. Нормализация в пределах отраслевых или заводских изделий отдельных узлов и деталей обусловливает увеличение серийности их выпуска, а следовательно, уменьшение трудоемкости процессов производства и снижение себестоимости. Унификация элементов деталей (хвостовиков валов, шлицев, резьбы, пазов, лысок, квадратов, фасок и т. п.) создает возможность унификации станочных наладок и снижения затрачиваемого на них времени. Поэтому удельное значение стандартизованных элементов в изделии характеризует степень технологичности его конструкции.

Требуемая точность взаимного положения элементов собираемого узла значительно легче достигается в тех случаях, когда сборочные базы являются одновременно измерительными базами для поверх-

ностей сопряжения базовой детали с деталями, входящими в собираемый узел. Это положение очевидно и не требует особых разъяснений. Выше было доказано, что совмещение установочной и измерительной баз обеспечивает более высокую точность обработки. Поэтому при конструировании деталей машин надо по возможности стремиться к тому, чтобы сборочная база могла быть использована в качестве установочной базы, так как совмещение сборочной, измерительной и установочной баз обеспечивает при всех прочих одинаковых условиях более высокую точность сборки.

Независимо от типа производства, для которого разрабатывается конструкция, необходимо предусматривать возможность широкого применения средств механизации сборочных работ. С этой целью: а) должен быть обеспечен свободный и удобный подвод механизированного сборочного инструмента к местам соединения деталей или их крепления и б) должна быть предусмотрена возможность пользоваться грузоподъемными устройствами для установки деталей и узлов на собираемое изделие. В частности, тяжелые детали и узлы должны иметь специальные рым-болты для захвата их при подъеме и установке на собираемую машину, а также при транспортировке к местам сборки. Механизация сборочных работ значительно повышает производительность труда в условиях любого типа производства — массового, серийного и единичного.

Дальнейшим развитием механизации сборочных процессов является их автоматизация, которая с успехом может быть применена не только в массовом, но и в серийном производстве. Автоматизация сборочных процессов позволяет рассчитывать на повышение производительности труда в 3—15 раз. Помимо тех технологических требований, которые предъявляются к конструкции механизацией сборочных процессов, возможность автоматизации обусловливается строгой координацией при сборке сопрягаемых поверхностей и, следовательно, соответствующим конструктивным решением относительно сборочных баз.

Резюмируя изложенные соображения, можно сформулировать основные требования, предъявляемые технологией сборки машин к конструктивному оформлению их элементов, следующим образом:

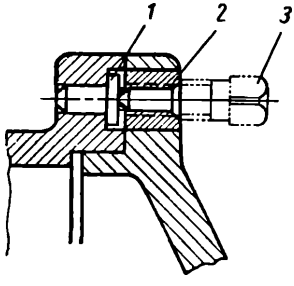
1) создавать по возможности конструкции, состоящие из узлов, собираемых обособленно от других элементов изделия и соединяемых с ним без разборки и повторной сборки; такие конструкции значительно облегчают организацию поточной сборки в массовом и серийном производствах, а в условиях единичного производства сокращают длительность цикла сборки;

2) применять в разрабатываемой конструкции в максимально возможной степени стандартизованные и нормализованные узлы и детали и унифицировать элементы оригинальных деталей; соблюдение этих условий обеспечивает снижение трудоемкости процессов производства и значительное сокращение номенклатуры технологической оснастки;

3) учитывать, что совмещение сборочной, измерительной и установочной баз обеспечивает более высокую точность обработки и сборки;

4) предусматривать возможность широкого применения средств механизации сборочных работ, повышающих производительность труда в условиях любого типа производства;

5) учитывать, что в условиях массового и серийного производства автоматизация процессов сборки (и процессов производства деталей машин) многократно увеличивает производительность труда и предусматривать в связи с этим при конструировании изделия возможность последующей автоматизации производственных процессов.



Фиг. 191. Съемное устройство для крышки, соединяемой плотной посадкой:

1 — упорная пятка для винта-съемника; *2* — втулка с внутренней резьбой (всего по окружности крышки располагаются три втулки); *3* — винт-съемник.

Эти основные требования, диктуемые технологией производства, можно дополнить некоторыми частными указаниями.

В целях повышения точности при установке детали или узла в требуемое положение без затраты дополнительного времени на выверку, предусматривать специальные центрирующие и фиксирующие элементы; в частности, например, подшипниковые и направляющие втулки, устанавливаемые в корпус или в кронштейн на резьбе, должны иметь центрирующие пояски, так как резьба не может обеспечить правильного центрирования детали; эти пояски являются установочными базами, обеспечивающими необходимую геометрическую определенность положения детали при ее установке; аналогичные базы должны быть предусмотрены для крышек цилиндров с отверстиями для штоков и для других подобных деталей.

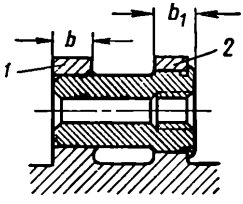
В целях расширения допусков на размеры обрабатываемых деталей и сокращения объема пригоночных работ, необходимо предусматривать, где это требуется, компенсирующие элементы в виде прокладок, колец и подвижных (регулируемых) компенсаторов.

В целях обеспечения возможности демонтажа при сборке и эксплуатации предусматривать в деталях, соединяемых плотной посадкой, элементы для применения съемных устройств (фиг. 191).

В целях облегчения сборки деталей, соединяемых по нескольким фиксирующим элементам, следует избегать параллельного, а предусматривать последовательно-параллельное их соединение. Во избежание задира посадочных поверхностей при сборке их следует делать ступенчатыми. Так например, на фиг. 192 ширина b посадочной поверхности (пояса) ушка *1* больше, чем ширина b_1 ушка *2*; поэтому втулка при сборке сначала получит направление в ушке *1* и только после этого войдет в отверстие ушка *2*.

Гайки, расположенные на внутренних поверхностях деталей, следует шплинтовать; гайки, расположенные на наружных поверхностях деталей, можно ставить с пружинными шайбами.

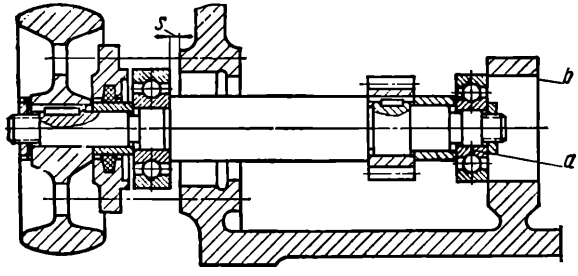
При монтаже подшипников качения на одном валу фиксировать в осевом направлении только один из них, обеспечивая остальным возможность перемещения при сборке в осевом направлении; при этом предпочтительнее тугую посадку применять в соединении внутреннего кольца с вращающейся деталью, а скользящую посадку — в соединении наружного кольца с неподвижной деталью (фиг. 193).



Фиг. 192. Посадка пальца по двум концентричным поясам; размер b ушка *1* должен быть больше размера b_1 ушка *2* для обеспечения последовательно-параллельного соединения.

Соблюдение изложенных требований при конструктивном оформлении элементов машин не только повышает технологичность конструкции, но вместе с тем значительно улучшает ее эксплуатационные качества. Технологичность современных машин повышается в ряде случаев за счет применения в них штампо-сварных конструкций, обладающих преимуществами совместного применения листовой штамповки и сборки методом сварки.

Конструктивное оформление узлов любых сложных форм и любых размеров в подавляющем большинстве случаев без особых затруднений можно осуществить сваркой элементов, формы и размеры которых обеспечивают требуемую конфигурацию и диктуются технологией производства. Сложные сварные конструкции могут сочетать элементы различных видов — штампованные, литые и из проката. При переходе с литых стальных заготовок на штампо-сварные может быть достигнуто снижение веса в среднем на 20—30%; при чугунном литье экономия металла будет еще больше.



Фиг 193. Сборка узла с подшипниками качения:

a — тугая посадка; *b* — скользящая посадка; *s* — зазор в начальный момент соединения.

Штампо-сварные элементы из толстолистового материала обеспечивают возможность назначения необходимых припусков на обработку при тех же допусках на размеры заготовок, что и для штампованных поковок.

Возможность сочетания в одном узле сырых и термически обработанных деталей, а также возможность сочетания элементов из различных металлов открывает дополнительные возможности для конструкторов и технологов.

Технологическая классификация сварных конструкций ограничивается тремя основными группами.

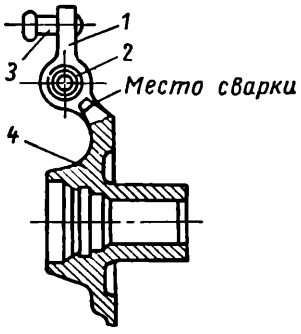
Первая группа — сварные конструкции, которые после сварки не подвергаются обработке резанием. Конструкции этой группы обычно применяются для элементов машин, имеющих свободные размеры. В некоторых случаях, при условии предварительной обработки деталей конструкции до сварки и обеспечения необходимой точности сварки, эти конструкции применяются также для элементов машин, имеющих ограниченные допусками размеры. В частности, такое построение технологического процесса вполне оправдывается в условиях тяжелого машиностроения. Например, в целях разгрузки уникальных станков при изготовлении поворотной платформы 14-кубового шагающего экскаватора, представляющей собой комбинированную с литьем металлоконструкцию, состоящую из трех секций общим весом 146 *т*, размерами в плане 20 × 12 *м*, был применен такой процесс. Втулки, являющиеся элементами поворотной платформы и связанные между собой межцентровыми расстояниями, обрабатывают окончательно на типовых (обычных) карусельных станках. Для обеспечения требуемых межцентровых расстояний между втулками их сварку с платформой производят в специальном стенде, включающем забетонированные подставки и тумбы с установленными в них оправками, фиксирующими положение втулок в пластформе при сварке. Во избежание искажения формы отверстий у втулок при сварке сварные швы удаляют от отверстия путем увеличения диаметра фланца втулки. Такое построение технологического процесса сократило цикл производства платформы на 28 суток, высвободило уникальный расточной станок со шпинделем диаметром 250 *мм* и сократило межцеховую и внутрицеховую транспортировку тяжелых элементов конструкции [98].

Вторая группа — сварные конструкции, посадочные поверхности которых подвергаются после сварки только чистовой обработке резанием. Предварительная обработка деталей конструкции производится раздельно на обычных (не уникальных) станках, а чистовая обработка — совместно после сварки, чем достигается требуемое взаимное положение элементов, входящих в сварную конструкцию. В условиях тяжелого машиностроения такое построение технологического процесса в значительной степени уменьшает загрузку уникального оборудования, лимитирующего обычно программный выпуск цеха. При расчете припусков на чистовую обработку элемен-

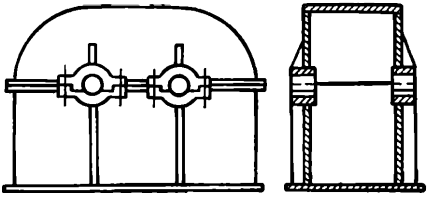
тов конструкции должны быть учтены пространственные отклонения, могущие возникнуть в процессе сварки.

Третья группа — сварные заготовки, черновая и чистовая обработка которых резанием производится после сварки. Такое построение технологического процесса применяется для конструкций, обработка которых не требует применения уникального оборудования.

На фиг. 194—196 приведены примеры сварных элементов машин. На фиг. 194 показан сварной узел автомобиля: подвеска рессоры *1* с запрессованной стальной втулкой *2* и окончательно обработанным пальцем *3* сваривается встык с фланцем кожуха задней полуоси *4*. Такое конструктивное решение значительно упрощает механическую обработку элементов сварной конструкции, показанной на фиг. 194.



Фиг. 194. Сварной узел автомобиля.



Фиг. 195. Сварной корпус редуктора.

На фиг. 195 показан сварной корпус редуктора; опоры под вкладыши подшипников обрабатываются предварительно до сварки; чистовое растачивание их производится в сваренном корпусе редуктора после фрезерования плоскостей сопряжения обеих половин корпуса. Такое построение технологического процесса значительно сокращает длительность цикла обработки на крупных станках и обеспечивает требуемую точность обработки.

На фиг. 196 показан сварной шкив; обработка ступицы и обода производится после сварки, что обеспечивает требуемую концентричность этих элементов шкива.

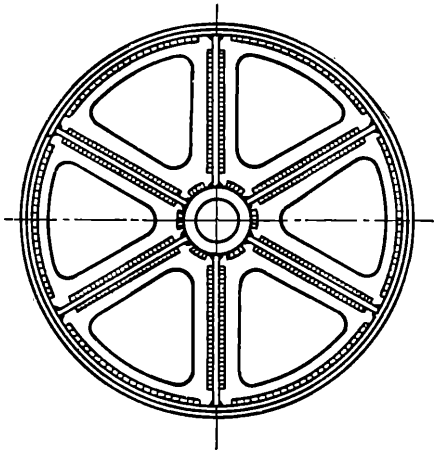
Не исключена возможность и целесообразность замены литых станин металлорежущих станков штампо-сварными конструкциями. При замене литых блока цилиндров автомобильного двигателя и его головки штампо-сварно-паяными конструкциями можно ожидать уменьшения веса этих элементов автомобильного двигателя на 30% и снижения трудоемкости процессов их изготовления на 26% [95].

Общие технологические требования к сварной конструкции можно сформулировать в следующем виде [94].

1. Необходимость при конструировании учитывать общую схему технологического процесса (применительно к классификационной

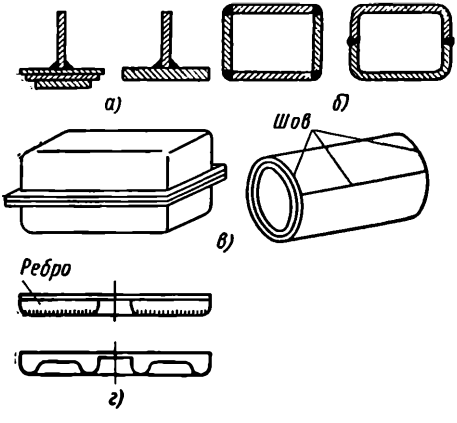
группе сварной конструкции) и предусматривать применение рациональных способов сварки.

2. Доведение до минумума объема сварочных работ путем уменьшения количества деталей в сварном узле посредством замены пакета тонких листов одним толстым листом (фиг. 197, *а*), применения гибки взамен сварки (фиг. 197, *б*), применения при штамповании формоизменяющих операций вместо разделительных (фиг. 197, *в*), замены приваренных ребер жесткости выштампованными усилениями (фиг. 197, *г*); применения минимальных углов разделки кромок, обеспечивающих полный провар, а также соединений без скоса кромок; проектирования соединений без накладок и при минимальном сечении швов за счет применения электродов и присадочных материалов, обеспечивающих высокую прочность соединений.

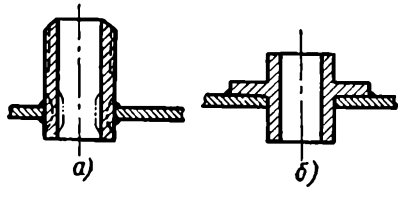


Фиг. 196. Сварной шкив.

3. Доведение до минимума деформаций и напряжений, вызываемых сваркой, путем: а) уменьшения количества сварных швов и объема наплавленного металла; б) симметричного расположения швов относительно центра тяжести свариваемого элемента; в) недопущения скученного расположения сварных швов с частым их пересечением; г) расположения швов, допускающего сборку всего узла до начала его сварки.



Фиг 197. Способы уменьшения объема сварочных работ.



Фиг. 198. Варианты приварки втулок.

4. Предохранение обработанных поверхностей деталей от повреждения при сварке путем размещения сварных швов на достаточном расстоянии от обработанных поверхностей. В частности, например,

при сварке втулки по фиг. 198, *а*, форма ее отверстия будет нарушена, как показано штрих-пунктиром; конструкция втулки с фланцем, показанная на фиг. 198, *б*, позволяет отдалить сварной шов и предохраняет отверстие втулки от искажений.

5. Размещение всех ответственных швов, допускающее в законченной конструкции их осмотр и контроль.

Здесь рассмотрены лишь общие требования, предъявляемые технологией производства к конструктивному оформлению элементов машин. Некоторые специальные требования и примеры приведены нами главным образом в качестве иллюстрации тех или иных общих положений.

§ 2. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ, ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫЕ К КОНСТРУКТИВНОМУ ОФОРМЛЕНИЮ ДЕТАЛЕЙ МАШИН

Общие направления при конструировании деталей машин соответствующие технологическим требованиям.

Требования, предъявляемые к конфигурации заготовок и деталей машин, изготовляемых из профильного проката, профильным волочением, свободной ковкой, горячей штамповкой на молотах, прессах и горизонтально-ковочных машинах, холодной высадкой, листовой штамповкой, литьем.

Общие требования, предъявляемые технологией механической обработки к конструктивному оформлению деталей машин. Технологические требования, предъявляемые к элементарным поверхностям деталей машин: наружным поверхностям вращения, торцовым поверхностям, отверстиям, резьбовым поверхностям, плоскостям, фасонным поверхностям, пазам и гнездам.

Возможность и целесообразность применения тех или иных технологических методов определяется в ряде случаев конструкцией деталей машин; особенно это относится к высокопроизводительным технологическим методам.

Таким образом, технология производства предъявляет ряд требований к конструктивному оформлению деталей машин. Соблюдение этих требований исключает или по крайней мере уменьшает производственные трудности, сокращает длительность цикла производства, повышает производительность труда и снижает себестоимость деталей машин. Эти требования диктуются как технологией производства черных заготовок, так и технологией их последующей обработки.

Конструирование является творческим процессом, поэтому дать общие для всех случаев правила конструирования деталей машин, отвечающие требованиям технологии производства, не представляется возможным, тем более, что конструкция детали диктуется ее служебным назначением. Общие направления решения этой задачи можно сформулировать следующим образом.

Конфигурация детали должна представлять собой сочетание простых геометрических форм, обусловливающих возможность при-

менения высокопроизводительных методов производства и предусматривать удобную, надежную базу для установки заготовки в процессе ее обработки; в тех случаях, когда поверхности детали не обеспечивают такой базы, должны быть предусмотрены специальные элементы (приливы, бобышки, отверстия и т. п.), служащие для базирования и закрепления заготовки; при необходимости эти элементы могут быть удалены после обработки.

Заданные точность и чистота поверхностей детали должны быть строго обоснованы служебным ее назначением, так как необоснованно повышенные требования к точности и чистоте вынуждают к введению в технологический процесс дополнительных операций, удлиняют цикл обработки, увеличивают трудоемкость процесса обработки и повышают себестоимость детали.

Широкое использование стандартизации и унификации как в отношении деталей в целом, так и в отношении элементов деталей машин обусловливают уменьшение трудоемкости процессов производства и снижение себестоимости деталей машин в связи с увеличением серийности выпуска и унификацией станочных наладок.

Переходя к технологическим требованиям, предъявляемым заготовительными процессами, можно рекомендовать руководствоваться следующими соображениями.

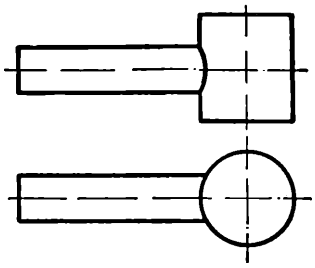
В условиях крупносерийного и массового производства оправдывается применение специального профильного и периодического проката, в значительной степени сокращающего механическую обработку, а в ряде случаев почти полностью ее исключающего. Специальный профильный прокат целесообразно в ряде случаев применять при штамповании в целях сокращения заготовительных ручьев и повышения производительности труда.

Заготовки профильного сечения, не требующие обработки, могут быть получены на машиностроительном заводе методом холодного волочения из сортового проката.

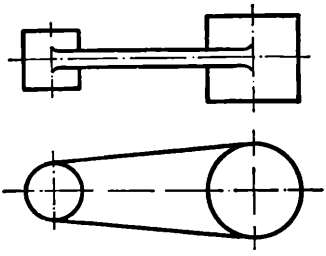
При выполнении заготовок свободной ковкой следует избегать пересечений цилиндрических элементов между собой (фиг. 199) и цилиндрических с призматическими элементами (фиг. 200) в связи с трудностью выполнения таких сочетаний свободной ковкой; в этом случае детали должны быть конструктивно оформлены по фиг. 201 вместо фиг. 199 и по фиг. 202 вместо фиг. 200. Следует также избегать ребристых сечений, так как ребра жесткости неприемлемы в поковках, получаемых свободной ковкой, а равно избегать бобышек, платиков, выступов на основных поверхностях поковки (например, бобышек *а* на фиг. 203) и выступов внутри развилин у вильчатых деталей (например, выступов *а* на фиг. 204).

В первом случае (фиг. 203) вместо бобышек надо предусмотреть цилиндрическое зенкование отверстий; во втором случае (фиг. 204) вместо внутренних выступов можно развить наружные выступы.

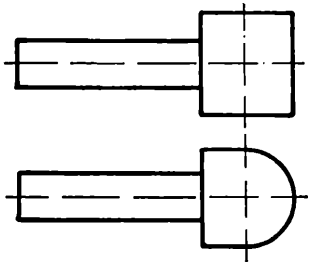
Детали, сложная конфигурация которых не поддается упрощению в цельном виде, целесообразно в ряде случаев заменять узлами,



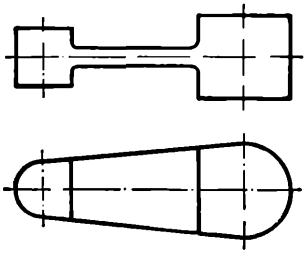
Фиг. 199. Трудновыполнимое при свободной ковке сочетание цилиндрических элементов.



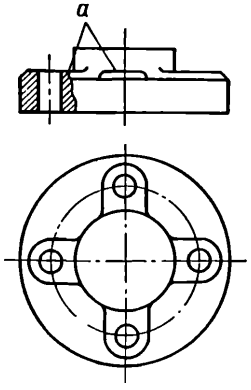
Фиг. 200. Трудновыполнимое при свободной ковке сочетание цилиндрических и призматических элементов.



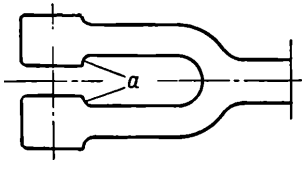
Фиг. 201. Приемлемая при свободной ковке конфигурация заготовки.



Фиг 202. Приемлемая при свободной ковке конфигурация заготовки.



Фиг 203. Неприемлемая при свободной ковке вследствие наличия бобышек *а* конфигурация заготовки.

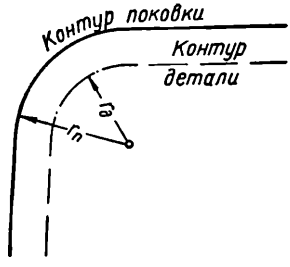


Фиг 204. Внутренние выступы *а*, крайне усложняющие процесс свободной ковки.

состоящими из более простых элементов, выполняемых сваркой, или сборными.

Для деталей, изготовляемых из поковок, штампуемых на молотах и прессах, рекомендуется руководствоваться следующими указаниями.

Геометрическая форма штампуемой поковки должна обеспечивать возможность свободного извлечения поковки из штампа. Боковые поверхности поковки должны иметь штамповочные уклоны в направлении, перпендикулярном к поверхности разъема штампа. В зависимости от отношения высоты стенки к ее ширине штамповочные уклоны принимают 5—15° для наружных стенок и 7—15° для внутренних стенок при отсутствии выталкивателей; 2—10° для наружных стенок и 3—12° для внутренних стенок при наличии выталкивателей [99].



Фиг 205. К выбору радиуса закругления у обработанной детали.

Переходы от одной необрабатываемой поверхности к другой должны осуществляться с закруглениями. Острые углы по условиям технологии горячей штамповки недопустимы. Радиусы загруглений внутренних, т. е. входящих углов должны быть больше радиусов закруглений наружных, т. е. исходящих углов, во избежание брака при штамповании и в целях повышения стойкости штампа. В зависимости от высоты и отношения высоты к ширине элемента, радиусы закруглений принимают 1,5—12,5 *мм* для наружных (исходящих) углов и 4—45 *мм* для внутренних (входящих) углов [99].

На сопряжениях обрабатываемых поверхностей детали также следует предусматривать достаточные радиусы закруглений или фаски. При этом должно быть соблюдено условие (фиг. 205)

$$r_д \geqslant r_п - z_н,$$

где $r_д$ — радиус закруглений у обработанной детали;
$r_п$ — радиус закруглений у черной поковки;
$z_н$ — номинальный припуск на обработку.

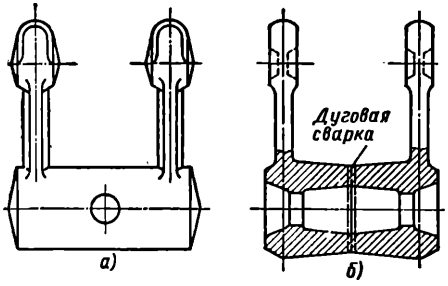
Несоблюдение этого условия приводит к необходимости увеличения припуска по сопрягаемым поверхностям поковки в целях обеспечения нормального припуска для получения заданного радиуса закругления у обработанной детали.

Если вместо радиуса закругления применяется фаска, то она должна вписываться в дугу, очерченную радиусом закругления.

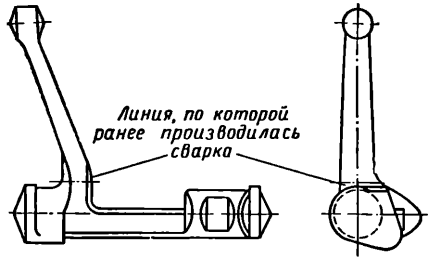
Резкая разница в площадях поперечных сечений детали на различных участках ее длины недопустима, так как затрудняет штамповку и сопряжена с повышенным браком по зажимам и незаполнению фигуры штампа.

Тонкие стенки в штампуемой детали уменьшают стойкость штампа вследствие быстрого остывания и повышения сопротивления деформации, а также обусловливают недоштамповку и вызывают повышение брака. Тонкие элементы детали, примыкающие к плоскости разъема, обусловливают большой отход металла и повышенный брак по незаполнению фигуры при штамповке, а также по скалыванию при холодной обрезке заусенца.

Симметричная форма детали относительно плоскости разъема и симметричные уклоны выступающих стенок упрощают изготовле-



Фиг 206. Цельноштампованная (*а*) и сварная (*б*) конструкции одного и того же элемента машины.



Фиг. 207. Пример целесообразной замены сварной конструкции цельноштампованной деталью.

ние штампов, упрощают процесс штамповки и снижают брак по смещению штампов; асимметричность фигуры и неодинаковые уклоны к плоскости разъема приводят к возникновению силы, стремящейся сдвинуть одну половину штампа относительно другой.

Размеры бобышек, в которых производится сверление и последующая обработка отверстия, определяют исходя из минимальной толщины стенки после обработки отверстия и возможного смещения штампов [1]; в ряде случаев овальные бобышки в направлении смещения обеспечивают возможность выдержать минимальную толщину стенки после обработки отверстия.

Детали цельной конструкции в ряде случаев целесообразно заменять сварными узлами в целях экономии металла и упрощения штамповки; например, сварной узел по фиг. 206 вместо цельноштампованной заготовки дает значительную экономию металла и упрощает штамповку. Однако необходимо проверять в каждом конкретном случае целесообразность такой замены, так как в некоторых случаях цельноштампованная заготовка оказывается более удобной в производстве и более дешевой (например, для рычага по фиг. 207).

---

[1] Величины смещения штампов см. в ГОСТе 7505-55.

При конструировании поковок, штампуемых на горизонтально-ковочных машинах, рекомендуется руководствоваться следующими соображениями [99].

На горизонтально-ковочных машинах можно штамповать разнообразные по конфигурации заготовки, но наиболее подходящими для этого вида штамповки являются детали, представляющие собой тела вращения правильной геометрической формы с фланцами, буртами, сквозными или несквозными отверстиями. Толщина стенок деталей с глубокими сквозными или глухими отверстиями должна быть не менее 0,15 наружного диаметра детали.

Сужения в продольном сечении детали затрудняют течение металла при штамповании, поэтому их следует избегать.

Хвостовики конической формы также затрудняют штамповку, поэтому их следует делать цилиндрическими.

Фланцы на конце или посередине детали должны иметь объем, не превышающий объем стержня данного диаметра d при длине стержня $10—12\,d$.

Штамповочные уклоны этого вида поковок могут быть очень небольшими: на высаживаемых в полости пуансона цилиндрических участках поковки длиной более половины их диаметра 0,5°; на буртах, формуемых в круговых впадинах матриц, 0,5—1,5°; на стенках глухих отверстий длиной пять и более диаметров 0,5—3°

Переходы от одной поверхности к другой должны осуществляться с закруглениями радиусом 1,5—2 *мм*.

Холодной высадкой получают крепежные и другие подобные им детали из углеродистых и легированных сталей с твердостью в отожженном состоянии $H_B = 120 \div 207$ [97].

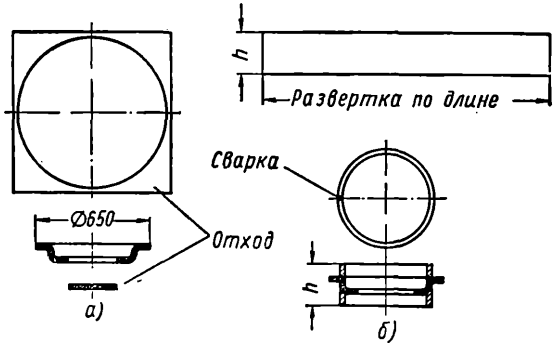
Для холодной высадки применяют калиброванную проволоку или калиброванный пруток. Высаживаемые элементы детали должны иметь по возможности простую форму при минимальном ее объеме и диаметре. В целях повышения стойкости холодновысадочных штампов не следует без необходимости ужесточать допуски на высаживаемые элементы. Переходы от одной поверхности к другой должны осуществляться с закруглениями радиусом не менее 0,2 *мм*.

Для деталей, получаемых листовой штамповкой, целесообразно руководствоваться следующими указаниями [96].

Для листовой штамповки применяют в основном материалы в виде ленты, полосы и листа. Ленту обычно применяют для тонких деталей (2,0—2,5 *мм* толщины), полосу — для деталей более 2,5 *мм* толщины, лист — в тех случаях, когда габариты детали не вписываются в ленту или полосу.

Ребра жесткости, отбортовки и другие конструктивные элементы, выполняемые листовой штамповкой, в целях экономии металла позволяют в ряде случаев уменьшить толщину материала. Применением сварки можно также получить значительную экономию металла; на фиг. 208 и 209 даны примеры применения сварки в целях экономии металла.

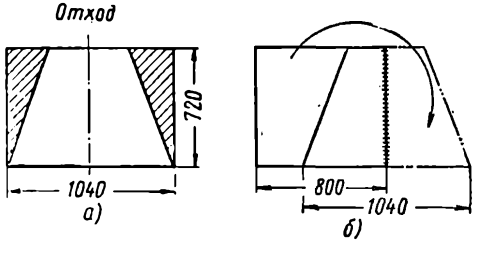
Конфигурация детали должна обусловливать минимальный отход металла при раскрое. Для этого контур одной стороны детали по возможности должен быть зеркальным отображением другой ее стороны;



Фиг. 208. Пример применения сварки в целях экономии металла:

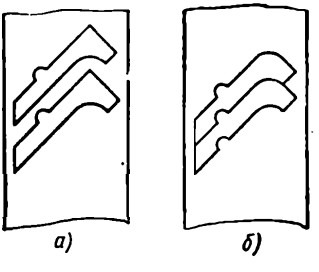
а — деталь, выполненная из листа (большой отход металла); *б* — деталь, выполненная путем сварки (без отхода).

на фиг. 210 дан пример несогласованности (*а*) и согласованности (*б*) конфигурации детали с рациональным раскроем материала.



Фиг. 209. Пример применения сварки в целях экономии металла:

а — цельная заготовка для капота (большой отход металла); *б* — сварная заготовка для капота (без отхода).



Фиг. 210. Пример несогласованности (*а*) и согласованности (*б*) конфигурации детали с раскроем.

Экономия цветного металла достигается заменой цельной детали узлом, в котором из цветных металлов выполняется только часть элементов, соединяемых с основной деталью запрессовкой или другими способами соединений.

Минимальные размеры пробиваемых стальными пуансонами и матрицами отверстий в зависимости от их формы (круглое, квадратное, прямоугольное) составляют при пробивке мягкой стали 1,0—0,7, для латуни и меди 0,9—0,6, для алюминия и цинка 0,8—0,5, для

бакелита и текстолита 0,7—0,4, для картона и бумаги 0,6—0,3 от толщины пробиваемого материала.

Минимальные радиусы сопряжения частей контура при вырубке и пробивке стальными штампами принимают порядка 0,90 толщины материала.

Расположение отверстий от контура детали и от соседних отверстий и вырубок принимают для мягкой стали 0,7—1,5 толщины материала. Расстояния от края отверстия до стенки (x) у изогнутых и вытянутых деталей принимают

$$x = R + 0{,}5s,$$

где R — радиус сопряжения стенки с поверхностью, в которой пробивается отверстие;

s — толщина материала.

Минимальная ширина детали должна быть для мягкой стали в 1,5 раза больше толщины материала.

При гибке в штампах высота прямой части отгибаемых стенок должна быть больше удвоенной толщины материала. Если требуется меньшая высота, то она может быть получена при наличии выдавленной канавки у отгибаемой стенки или последующей механической обработкой.

На участке перехода закругления в вертикальную стенку получаются утонение материала в месте изгиба и вмятины, устранение которых достигается лишь дополнительными операциями.

При гибке в штампах угольников и скоб, полки, в зависимости от толщины материала s, могут быть выполнены со следующими отклонениями Δ [96]:

s в *мм*	до 2	2—4	Св. 4
Δ в *мм*	$\pm 0{,}15$	$\pm 0{,}3$	$\pm 0{,}4$

При вытяжке деталей со значительными по размерам плоскими поверхностями следует во избежание местных выпучин предусматривать на этих поверхностях удлиненные и пересекающиеся ребра жесткости.

При получении по конструктивным соображениям сложных, трудно выполнимых вытяжкой форм, следует расчленять такую конструкцию на простые элементы с последующим соединением их штамповкой или сваркой.

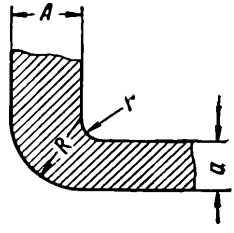
Для литых деталей машин рекомендуется руководствоваться следующими указаниями [100]. Конфигурация отливки должна обеспечивать возможность беспрепятственного извлечения модели из формы. С этой целью необходимо предусматривать конструктивные уклоны вертикальных поверхностей отливки, выбирая их величину в зависимости от высоты поверхности. Для внутренних поверхностей отливок принимают уклон большей величины, чем для наружных. Сле-

дует по возможности избегать отъемных частей модели и сложных поверхностей разъема.

Необходимо учитывать положение поверхностей при заливке и избегать значительных по размерам горизонтальных поверхностей, занимающих при заливке верхнее положение, так как на этих плоскостях могут задерживаться газы, выделяющиеся из металла и образующиеся в форме, что поведет к образованию газовых раковин.

Конструкция отливки должна обеспечивать беспрепятственное заполнение формы жидким металлом без резких изменений направления и скорости его течения.

При конструировании литой детали следует учитывать явления ее усадки, механического торможения, создаваемого формой и стержнями, и термического торможения, возникающего вследствие разной скорости остывания частей отливки.



Фиг. 211. Угловое сопряжение стенок при отношении толщин A к $a < 2$.

Конструкция отливки должна по возможности обеспечивать равномерное охлаждение всех сечений отливки и допускать свободную ее усадку во избежание возникновения внутренних напряжений и связанных с ними коробления отливок и появления трещин.

Конфигурация отливки должна обеспечивать возможность беспрепятственного отрезания прибыли, литников и выпоров, выбивки стержней и удаления каркасов.

На чертежах литых деталей следует отмечать базовые поверхности, которыми будут пользоваться при механической обработке заготовок; эти поверхности будут служить исходными при проверке моделей и отливок. Базовые поверхности должны по возможности образовываться моделью и находиться в одной опоке в целях исключения влияния на их точность смещений опок и стержней. По каждой из трех осей пространственных координат желательно иметь лишь одну базу.

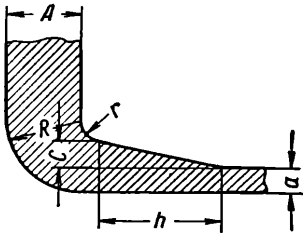
При назначении толщины стенок отливок необходимо учитывать размер и вес отливки, применяемый для литья металл и метод литья.

Необходимо учитывать, что плавные переходы сечений и отсутствие острых углов обусловливают получение отливки, свободной от литейных пороков и напряжений. В одной отливке рекомендуется по возможности проектировать галтели одного радиуса или ограничивать в максимальной степени число радиусов, различных по величине.

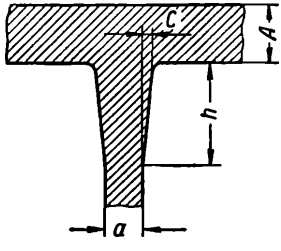
Резкие изменения сечений недопустимы и переходы от одного сечения к другому должны быть постепенными (фиг. 211—213). Радиусы переходов (R и r) и линии переходов (размеры h и C) при сопряжениях в одной стенке и угловых сопряжениях двух или трех стенок должны иметь определенные величины, зависящие от толщины сопрягаемых стенок (A и a).

Конструкция ребер зависит от габаритов литья, а их размеры находятся в определенном соотношении с размерами стенок.

Радиусы закругления сопрягаемых поверхностей принимают 2—120 *мм*, в зависимости от габаритных размеров поверхностей и углов сопряжения [1].

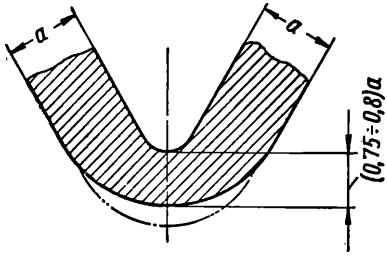


Фиг. 212. Угловое сопряжение стенок при отношении толщин A к $a > 2$.



Фиг. 213. Сопряжение трех стенок.

При конструировании литых углов необходимо учитывать, что скорость затвердевания внешних углов больше, чем внутренних. Тепловые потоки, идущие перпендикулярно стенкам отливки, у внутренних углов пересекаются, создавая «горячее место», замедляющее остывание. В вершине угла толщина должна быть на 20—25% меньше толщины сопрягаемых стенок (фиг. 214) [100].



Фиг 214. Конструкция угла отливки.

Внутренним полостям литых деталей желательно придавать конфигурацию, не требующую применения стержней. Соотношения в размерах внутренних полостей, образуемых частями формы без применения стержней, зависят от положения этих полостей в форме. При машинной формовке полости, образуемые частями формы, расположенными в нижней опоке (фиг. 215), допускают $H \leqslant D$; полости, образуемые частями формы в верхней опоке, должны иметь $h \leqslant 0{,}3d$; при ручной формовке принимают $H \leqslant 0{,}5D$ и $h \leqslant 0{,}15d$.

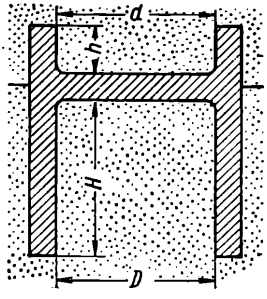
При значительном числе в отливке полостей, образуемых стержнями, следует стремиться к их унификации. При длине стержня, превышающей удвоенный диаметр его, форма полости должна предусматривать возможность крепления стержня в обоих концах. Размеры полостей и диаметры отверстий, образуемых стержнями,

[1] Рекомендуемые величины углов сопряжений и радиусов закругления, см. Справочник машиностроителя, т. 5, Машгиз, 1955, стр. 80—85.

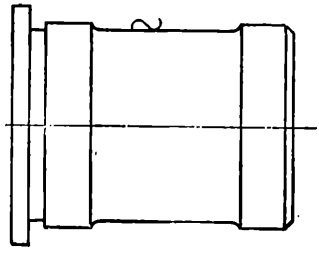
должны позволять применение литых или проволочных каркасов для упрочнения стержней.

Конструкция отливки должна обусловливать возможность удаления из внутренних полостей стержневой смеси и каркасов, а также тщательной очистки внутренних полостей. В закрытых внутренних полостях должны быть предусмотрены специальные отверстия для удаления стержневой смеси и каркасов; после очистки эти отверстия заделываются заглушками.

В местах, где имеются отверстия, стенки усиливают бобышками. Наименьшие высоты бобышек рекомендуется принимать при



Фиг. 215. К определению размеров внутренних полостей отливок.



Фиг. 216. Конструктивное оформление детали, обеспечивающее необходимую жесткость при обработке.

габаритах детали до 0,5 *м* 5 *мм*, от 0,5 до 2 *м* 10—15 *мм* и свыше 2 *м* 20—25 *мм*.

Общие требования, предъявляемые технологией механической обработки к конструктивному оформлению деталей машин, можно сформулировать следующим образом.

Сокращать по возможности объем механической обработки, предусматривая допуски по размерам детали лишь для посадочных поверхностей и оставляя свободными остальные размеры. При точных методах выполнения заготовок детали могут быть получены без механической обработки.

Обеспечивать удобные и надежные базирующие поверхности для установки заготовок в процессе их обработки и простановкой размеров предусматривать по возможности совмещение установочных и измерительных баз.

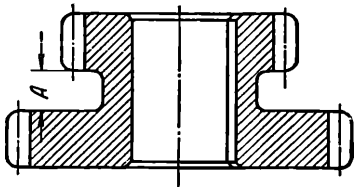
Обеспечивать достаточную жесткость детали, обусловливающую восприятие усилий резания без ощутимых деформаций (фиг. 216).

Предусматривать возможность удобного подвода жесткого и высокопроизводительного режущего инструмента к обрабатываемой поверхности.

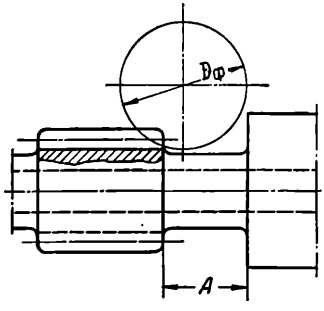
Задавать разность в размерах черных и обрабатываемых поверхностей, обеспечивающую, с учетом припусков на обработку, свободный выход режущего инструмента при допустимых погрешностях в размерах черной заготовки.

Предусматривать свободный выход режущего инструмента при обработке на проход (фиг. 217 и 218, размер *А*).

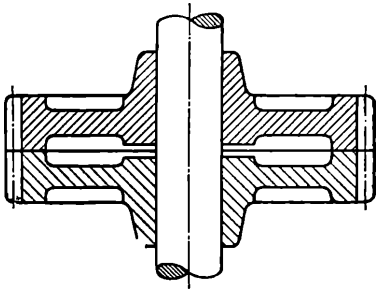
Конструировать детали с учетом возможности одновременной установки нескольких деталей для обработки (фиг. 219).



Фиг. 217. Конструктивное оформление детали, обеспечивающее выход режущего инструмента.

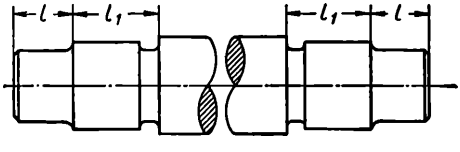


Фиг. 218. Конструктивное оформление детали, обеспечивающее выход фрезы.



Фиг 219. Установка двух заготовок зубчатого колеса для одновременной обработки.

Применительно к элементарным поверхностям деталей машин необходимо учитывать следующие технологические требования.



Фиг. 220. Унифицированные элементы конструкции хвостовиков.

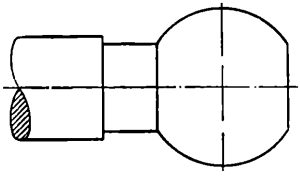
Наружные поверхности вращения. Широко применять высадку головок, фланцев, буртов для уменьшения объема механической обработки и расхода металла.

На валах, подвергающихся обработке в центрах, рекомендуется оставлять центровые гнезда на готовой детали.

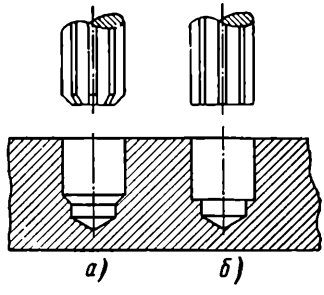
По возможности унифицировать элементы конструкции хвостовиков в целях использования одних и тех же многорезцовых настроек при их обработке (фиг. 220).

Рекомендуется везде, где это возможно, конструктивно оформлять сферические выпуклые поверхности со срезом перпендикулярно оси (фиг. 221).

О т в е р с т и я. Предусматривать по возможности сквозные отверстия, так как обработка их значительно легче обработки глухих. Конфигурация глухих отверстий должна быть увязана с конструкцией применяемого осевого инструмента, например, развертки (фиг. 222, *а*) или зенкера (фиг. 222, *б*).



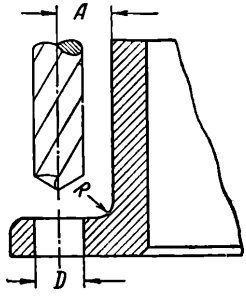
Фиг. 221. Сферическая поверхность со срезом по оси.



Фиг. 222. Конфигурация глухих отверстий, увязанная с геометрией режущего инструмента.

Отверстия должны располагаться не ближе определенного расстояния от стенки детали: $A \geqslant \frac{D}{2} + R$ (фиг. 223), а для отверстий под соединительные болты $A \geqslant \frac{D_г}{2} + R$, где $D_г$ — диаметр описанной окружности гайки.

Расстояния между отверстиями назначать с учетом возможности применения многошпиндельных сверлильных головок. Унифицировать расположение и размеры отверстий во фланцах в целях применения многошпиндельных головок. Количество отверстий во фланцах выбирать таким, чтобы можно было сверлить их нормальной трех-или четырехшпиндельной головками с последовательным поворотом.



Фиг. 223. К определению расстояния оси отверстия до стенки.

При сверлении входная и выходная поверхности должны быть во избежание поломки сверл перпендикулярными к оси отверстия.

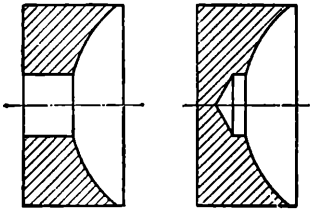
При расположении нескольких отверстий на одной оси рекомендуется с целью одновременной обработки уменьшать последовательно размеры отверстий на величину, превышающую припуск на обработку предшествующего отверстия.

При сверлении отверстий в пазах назначать их диаметры меньше ширины пазов на 0,5—1 *мм*.

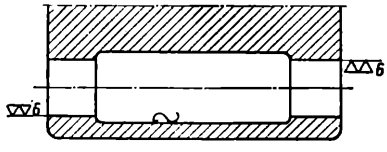
У ступенчатых отверстий наиболее точной назначать сквозную ступень.

Конструкция вогнутой сферической поверхности должна предусматривать сквозное или глухое отверстие, чтобы при обработке ее не было нулевых скоростей резания (фиг. 224).

Рекомендуется избегать канавок в отверстиях, обрабатываемых на сверлильных и агрегатных станках, так как этим усложняется обработка, а также избегать применения механически обрабатываемых выточек, предусматривая взамен них литые поверхности (фиг. 225).



Фиг. 224. Конструктивное оформление вогнутой сферической поверхности.



Фиг. 225. Замена выточки литой поверхностью.

Р е з ь б а. Рекомендуется применение на нарезаемом отверстии заходной фаски.

Размеры сбега резьбы, нарезаемой метчиком в глухом отверстии без канавки, должны устанавливаться в три нитки для чугуна и в пять ниток для стали.

При резьбофрезеровании наличие канавок для выхода фрезы необязательно.

Резьба должна быть нормализована не только для данной машины, но и в рамках всех резьб, применяемых на данном заводе или в данной отрасли промышленности. Следует избегать, где это возможно, применения резьб малого диаметра (6 *мм* и ниже) ввиду частой поломки метчиков при механическом нарезании таких резьб.

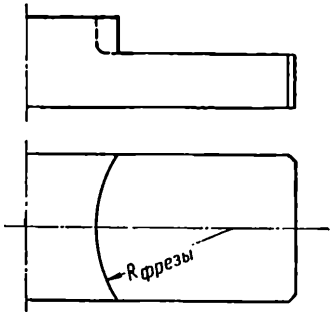
При нарезании резьбы на концах валиков предусматривать сбег резьбы.

П л о с к и е п о в е р х н о с т и. Конфигурация обрабатываемых плоских поверхностей должна обеспечивать по возможности равномерный и безударный съем стружки.

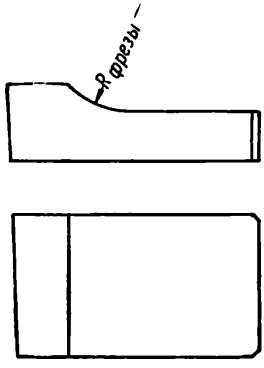
Размеры обрабатываемых плоских поверхностей должны быть увязаны с размерами нормальных фрез, т. е. ширины обрабатываемых поверхностей должны быть унифицированы в соответствии с нормальным рядом диаметров торцовых фрез или длин вальцовых фрез.

В случае, когда не предусмотрен выход для режущего инструмента, переходная часть обрабатываемых плоских поверхностей

должна соответствовать размерам и виду поверхности режущего инструмента (фиг. 226 и 227).



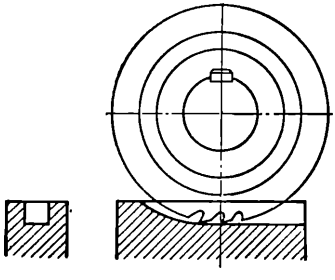
Фиг. 226. Конструктивное оформление переходной части плоской поверхности, обработанной торцовой фрезой.



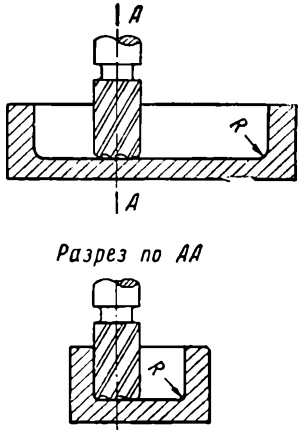
Фиг. 227. Конструктивное оформление переходной части плоской поверхности, обработанной цилиндрической фрезой.

Фасонные поверхности. Радиусы вогнутых и выпуклых поверхностей должны быть увязаны с размерами нормальных полукруглых выпуклых и вогнутых фрез.

Пазы и гнезда. Пазы должны по возможности допускать



Фиг. 228. Конструктивное оформление переходной части паза.



Фиг. 229. Конструктивное оформление гнезда.

обработку на проход. При невозможности обработки на проход переходная часть паза должна соответствовать радиусу фрезы (фиг. 228). Глубина и ширина пазов должна выбираться в соответствии с размерами нормальных пазовых фрез.

Радиусы закругления у основания гнезд должны быть одинаковыми по всему периметру (фиг. 229) и должны соответствовать размерам и геометрии нормальных пазовых фрез.

Изложенные технологические требования к конструктивному оформлению деталей машин не могут, разумеется, претендовать на освещение этого вопроса с исчерпывающей полнотой. Однако они достаточно убедительно иллюстрируют необходимость увязки конструкции деталей машин с технологией их производства. Установление общих требований, предъявляемых технологией производства к конструкции машины и ее элементов, позволяет сделать попытку комплексного анализа конструкций с технологической точки зрения. Представляется, что такой анализ может быть построен на базе изложенных основных положений. При этом возможно, что наиболее целесообразное построение комплексного анализа должно быть направлено от конечной стадии к начальной стадии производства, т. е. от требований, вытекающих из технологии общей сборки, к требованиям, предъявляемым процессами выполнения заготовок для деталей машин. Однако до детальной разработки вопроса о комплексном анализе преждевременно делать какие-либо выводы.

Необходимо учитывать, что разработка разнообразных и в особенности сложных конструкций деталей машин, полностью отвечающих производственным условиям, может быть связана с технологическими задачами, решение которых по силам только специалистам в различных областях технологии (обработки давлением, литейного производства, механической обработки и т. п.). Поэтому консультация соответствующих специалистов-технологов в процессе конструирования деталей машин безусловно необходима и целесообразна. Опыт наших передовых заводов в создании новых конструкций с участием технологов показывает исключительно благоприятные результаты такой совместной работы конструкторов и технологов. В этом случае при запуске новых конструкций в производство значительно ускоряется процесс их технологической отладки и сокращаются до минумума исправления и изменения конструкций, вызываемые требованиями технологии производства.

ГЛАВА VI

ПОСТРОЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В МАШИНОСТРОЕНИИ

§ 1. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ СБОРКИ

Исходные данные, необходимые для разработки технологических процессов сборки.

Технологический контроль сборочных чертежей. Составление технологических схем сборки. Организационные формы сборки. Расчет длительности цикла сборки, действительного темпа сборки, производительности сборочного места и коэффициента его загрузки. Выбор методов и организационных форм сборки.

Последовательность технологических переходов сборки. Расчленение процесса сборки на операции. Критерии оценки технологических процессов сборки. Документация технологических процессов сборки.

Исходными данными для проектирования технологических процессов сборки являются: а) сборочный чертеж, определяющий конструкцию изделия или узла; б) технические условия приемки; в) размер программного задания.

Степень углубленности разработки технологического процесса сборки зависит от типа производства и размера программного задания. При больших размерах выпуска процесс сборки разрабатывается весьма детально и с возможно полной дифференциацией. При незначительных размерах выпуска очень часто ограничиваются лишь общей наметкой сборочных операций.

Разработку технологического процесса сборки следует начинать с изучения конструкции собираемого изделия или узла и условий его работы, а следовательно, технических условий его приемки.

Изучение конструкции следует совмещать с технологическим контролем сборочного чертежа.

Сборочный чертеж должен содержать все данные, необходимые для выполнения сборки, а именно: проекции и разрезы, обеспечивающие быстрое и полное освоение конструкции изделия; номера деталей и узлов, составляющих собираемое изделие, а также спецификацию этих деталей и узлов; размеры, которые необходимо соблюсти при сборке, и, в частности, соблюдаемые при сборке зазоры; остальные размеры на сборочных чертежах обычно не проставляются, чтобы не затруднять его чтение; данные о весе изделия; особые технические условия, предъявляемые к собираемому изделию или узлу.

При отсутствии тех или иных данных они должны быть соответственно пополнены, а в случае неясностей и ошибок — исправлены конструкторским бюро.

Возможны также и некоторые предложения по конструктивным изменениям, упрощающим сборку. Однако такие изменения не должны, конечно, нарушать конструкции изделия в целом и неблагоприятно влиять на его работу.

Не ограничиваясь изучением сборочного чертежа, необходимо ознакомиться также с рабочими чертежами входящих в него деталей с целью выяснения характера работ, которые необходимо будет произвести при сборке.

Изучение собираемого изделия или узла завершается составлением технологических схем общей и узловой сборки. При наличии образца собираемого изделия или узла составление технологических схем сборки значительно упрощается. В этом случае последовательность сборки может быть установлена в процессе пробной разборки образца. При этом элементы, которые могут быть сняты в неразобранном виде, представляют собой технологические узлы, на которые должны быть составлены технологические схемы узловой сборки; детали, которые могут быть сняты не в составе узла, а отдельно, являются элементами, непосредственно входящими в общую сборку узла или изделия.

Разбирая образец, составляют технологическую схему разборки (от изделия или узла к базовым элементам). Одновременно записывают последовательный порядок разборки. Производя сборку в обратном порядке, проверяют правильность записей и вносят в них необходимые коррективы. Аналогично поступают с каждым узлом и получают таким образом технологические схемы общей и узловой сборки. При отсутствии образца составление технологических схем сборки и установление ее последовательности является более сложной задачей.

Технологические схемы сборки, определяющие взаимную связь сборочных элементов изделия или узла, служат отправными при проектировании технологических процессов сборки. Задача разработки технологического процесса сборки сложного изделия значительно упрощается при наличии технологических схем сборки.

В этом случае представляется возможным составлять технологические процессы сборки для отдельных групп и подгрупп, состоящих обычно из небольшого числа соединений, а затем вести разработку технологического процесса общей сборки. Кроме того, при наличии технологических схем сборки проектирование технологических процессов могут вести одновременно несколько технологов; заменяя последовательный порядок проектирования параллельным, удается в значительной степени сократить время, затрачиваемое обычно на разработку технологических процессов сборки. Вместе с тем технологические схемы сборки дают четкое представление

о целесообразной организации сборочного процесса, определяя общую и узловую сборку как самого изделия, так и его групп.

Переходя к рассмотрению организационных форм сборки необходимо отметить, что различают поточную и непоточную сборку.

Непоточная сборка осуществляется только при неподвижном собираемом узле или изделии. При этом сборка может выполняться непосредственно из деталей или из предварительно собранных узлов.

Обычно общая сборка производится из предварительно собранных узлов, так как в этом случае длительность цикла сборки значительно сокращается сравнительно со сборкой непосредственно из деталей; поэтому лишь в случаях, когда конструкцией изделия не предусмотрена возможность выделения узлов, общая сборка производится непосредственно из деталей.

Применение узловой сборки, помимо изложенных ранее преимуществ, обеспечивает также сокращение трудоемкости процессов сборки за счет специализации рабочих.

Поточная сборка осуществляется с перемещением собираемого объекта; она может выполняться также и на неподвижных стендах. Поточная сборка обусловливается не только выделением узловой сборки, но также расчленением процесса сборки на отдельные операции, каждая из которых выполняется специальными рабочими или небольшими бригадами рабочих.

Основной расчетной величиной при проточной сборке является темп сборки, определяющий, как уже сказано выше, равномерно повторяющийся период времени, затрачиваемого на выпуск единицы собранных изделий или узлов.

Действительный темп $t_д$ при поточной сборке определяется с учетом потерь времени на обслуживание рабочих мест и перерывы в работе на поточных линиях:

$$t_д = \frac{T_{см} - T_{обсл} - T_{пер}}{N_{см}} \text{ мин/шт}, \qquad (145)$$

где $T_{см}$ — длительность рабочей смены в мин.;

$T_{обсл}$ — потери времени на обслуживание рабочих мест в мин.;

$T_{пер}$ — потери времени на регламентированные перерывы для отдыха во время работы в мин.;

$N_{см}$ — заданный выпуск за смену в шт.

В темп поточной сборки должна укладываться сумма оперативного (т. е. основного и вспомогательного) времени и времени, затрачиваемого на перемещение собираемого объекта или на переход рабочих от одного рабочего места к другому.

Для этого в процессе разработки технологии значительное отклонение оперативных времен операций от темпа сборки устраняется перераспределением технологически отделимых переходов между несколькими смежными операциями.

Поточная сборка с перемещением собираемого объекта осуществляется следующими способами:

1) с передачей собираемого объекта от одного рабочего места к другому вручную (по верстаку, по рольгангу, на тележках, перемещаемых вручную по безрельсовому или по рельсовому пути);

2) с передачей собираемого объекта от одного рабочего места к другому посредством механических транспортирующих устройств; в этом случае транспортирующие устройства предназначаются исключительно для межоперационного перемещения собираемых возле них объектов;

3) на конвейере с периодическим перемещением (пластинчатый конвейер, тележки, ведомые по рельсовому пути замкнутой цепью; в этом случае сборка производится на конвейере в периоды его остановки; с последнего поста конвейра при каждом его перемещении сходит собранное изделие (или узел);

4) на непрерывно движущемся конвейере, перемещающем собираемое изделие (или узел) с определенной скоростью, обеспечивающей возможность выполнения сборочных операций на протяжении каждого рабочего места.

Поточная сборка при неподвижном объекте осуществляется на расположенных в линию неподвижных стендах. Каждый рабочий (или каждая бригада рабочих) выполняет свою операцию, переходя последовательно от одного стенда к другому.

Поточную сборку при неподвижном объекте вместо подвижной поточной сборки целесообразно применять в серийном производстве при значительном оперативном времени, в особенности для сборки тяжелых машин, перемещение которых затруднительно.

Время на переход рабочих или перемещение объекта

$$\tau = \frac{l}{v}, \tag{146}$$

где l — длина рабочего места в *м*;

v — скорость перемещения в *м/мин*.

Скорость перемещения принимается: а) при переходе рабочих и ручном перемещении собираемого объекта 10—15 *м/мин*; б) по рольгангу — до 20 *м/мин*; в) для механических транспортирующих устройств 30—40 *м/мин*; г) для сборочного конвейера периодического действия 15—20 *м/мин*; для длинных конвейеров с большим общим весом скорость передвижения принимают равной 3—5 *м/мин*.

Скорость непрерывно движущегося конвейера (v) определяется по формуле

$$v = \frac{l}{t_д} \text{ м/мин}, \tag{147}$$

где l — длина рабочего места в *м*;

$t_д$ — действительный темп сборки в мин/шт.

Практически для сборки на непрерывно движущемся конвейере принимают скорость в пределах от 0,25 до 3,5 *м/мин*.

Длительность поточной сборки ($T_п$) определяется по формуле

$$T_п = n_п t_д \text{ мин.}, \tag{148}$$

где $n_п$ — число рабочих мест (станций) на сборочной линии;

$t_д$ — действительный темп сборки в мин/шт.

Число рабочих мест определяется количеством сборочных и контрольных операций, включая предусмотренные резервные места.

Количество рабочих на каждом сборочном месте устанавливается в зависимости от трудоемкости технологических переходов, составляющих выполняемую операцию, возможности их совмещения и удобства одновременного выполнения, а также от размеров собираемых изделий или узлов.

Производительность сборочного рабочего места определяется по формуле

$$Q = \frac{TB}{t_ш}, \tag{149}$$

где Q — производительность в единицу времени (часовая, сменная), выраженная в штуках собираемых изделий или узлов;

T — рабочее время, к которому отнесена производительность (час, смена), в мин.;

B — количество рабочих на сборочном месте;

$t_ш$ — штучное время выполнения сборочной операции в мин.

Коэффициент загрузки сборочного места поточной линии

$$K_п = \frac{t_ш}{t_д B}. \tag{150}$$

Коэффициент загрузки поточной линии сборки

$$K_л = \frac{1}{n_п} \sum_1^{n_п} K_п. \tag{151}$$

Преимущества поточной сборки определяются возможностью вести сборку широким фронтом, сокращением межоперационных заделов, специализацией рабочих мест и рабочих, от которых требуется в этом случае меньшая квалификация. Внедрением поточной сборки достигается сокращение незавершенного производства, снижение трудоемкости сборочных процессов в результате их дифференциации и лучшей специализации рабочих-сборщиков. Вместе с тем внедрение поточной сборки связано с выполнением определенных требований, которые не ограничиваются устройством конвейера или поточной сборочной линии, а распространяются на все предшествующие этапы производственного процесса.

При поточной сборке конструкция изделия должна быть тщательно отработана и согласована с технологическими условиями поточного производства. Должно быть обеспечено бесперебойное, увязанное с темпом сборки, снабжение сборочной линии взаимозаменяемыми деталями и узлами собираемого изделия. На линии поточной сборки могут быть допущены слесарно-пригоночные работы лишь в том случае, если они вполне регламентированы по времени и увязаны с темпом сборки; в случае индивидуальной пригонки элементов изделия необходимо, чтобы таковые поступали на сборку спаренными.

Механическая обработка деталей машин должна обеспечивать соблюдения технологических требований поточной сборки (взаимозаменяемость, регламентированные пространственные отклонения элементов деталей и т. д.). Таким образом, поточная сборка является прогрессивным фактором и служит целям повышения технологической культуры на всех этапах производственного процесса и роста производительности труда.

Широко применяемая при конвейерной сборке механизация сборочных работ в процессе дальнейшего развития переходит в автоматизацию процессов сборки и служит эффективным средством дальнейшего повышения производительности труда.

Выбор методов и организационных форм сборки определяется главным образом заданным выпуском машин, т. е. программным заданием.

Выше [1] были рассмотрены методы сборки, причем был сделан вывод, что при сборке любого изделия могут быть применены все методы сборки (полной взаимозаменяемости, групповой взаимозаменяемости, регулировки, пригонки) и в каждом случае должен быть решен вопрос — какой из этих методов получит преимущественное применение. Для серийного и массового производства вопрос решается в пользу сборки методами взаимозаменяемости. При этом не исключается, если это необходимо, пригонка; однако методы ее выполнения не должны нарушать поточности процесса.

Аналогично решается вопрос об организационной форме сборки. В первую очередь выбор должен быть сделан между поточной и непоточной сборкой. Непоточная сборка применяется в основном только в условиях единичного производства.

В условиях серийного и массового производства наиболее целесообразной организационной формой сборки является поточная сборка.

Поточная сборка с передачей собираемого объекта от одного сборочного места к другому вручную вполне приемлема в условиях мелкосерийного производства, так как необходимые затраты на устройство верстаков, рольгангов и рельсовых путей с тележками невелики, к тому же могут быть использованы для сборки различных изделий.

Поточная сборка с передачей собираемого объекта от одного сбо-

[1] Глава III, § 2.

рочного места к другому посредством механических транспортирующих устройств применима в условиях серийного производства для групповых и переменно-поточных линий, а также в условиях массового производства при сборке малогабаритных изделий небольшого веса.

Сборка на конвейере, применявшаяся первоначально в условиях массового производства, находит все более широкое применение и в серийном производстве, при организации групповых и переменно-поточных линий. Выбор между конвейерами периодического и непрерывного движения определяется в ряде случаев возможностью и удобствами выполнения сборочных операций на движущемся конвейере и величиной темпа сборки. Необходимо учитывать, что время, затрачиваемое на перемещение конвейера периодического движения, является по существу потерей, иногда очень значительной. Эта потеря времени определяется по формуле

$$p = \frac{\tau}{t_д}\ 100 = \frac{l}{vt_д} \cdot 100\%, \qquad (152)$$

где p — потеря времени в %;
τ — время перемещения конвейера;
l — длина сборочного места в *м*;
v — скорость перемещения конвейера в *м/мин*;
$t_д$ — действительный темп сборки в мин/шт.

Процент потери времени на перемещение конвейера тем меньше, чем больше темп потока.

Для данной процентной величины потерь времени на перемещение конвейера можно определить величину темпа сборки, при котором целесообразно применение конвейера периодического движения:

$$t_д = \frac{l}{v}\ \frac{100}{p}. \qquad (153)$$

Например, при длине сборочного места $l = 4$ *м*, скорости перемещения конвейера $v = 5$ *м/мин* и действительном темпе сборки $t_д = 3{,}2$ мин. получим

$$p = \frac{4}{5 \cdot 3{,}2} \cdot 100 = 25\%.$$

Чтобы потери на перемещение конвейера не превышали 5%, темп сборки должен быть

$$t_д = \frac{4}{5 \cdot 5}\ 100 = 16 \text{ мин/шт.}$$

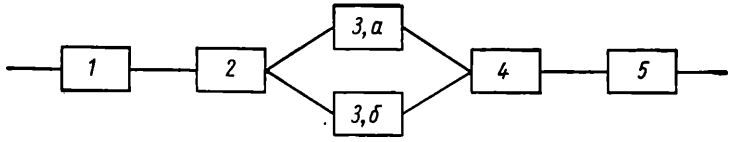
Принятые методы и организационная форма сборки определяют выбор оборудования для выполнения сборочных операций и в первую очередь транспортного оборудования для поточной сборки. Необходимо предусматривать также требующееся по технологи-

ческому процессу оборудование для выполнения пригоночных операций и для технического контроля, приработки и испытания собранных узлов и изделия.

В отношении последовательности сборочных операций необходимо руководствоваться следующими соображениями:

во-первых, предшествующие операции не должны затруднять выполнение последующих операций;

во-вторых, при поточно-массовой сборке разбивка процесса на операции диктуется темпом сборки, причем время, затрачиваемое на выполнение каждой операции, должно быть равно или кратно темпу;



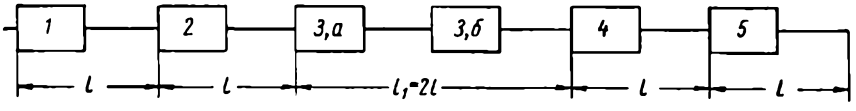
Фиг. 230. Схема параллельного выполнения операции при поточной сборке с перемещением собираемого изделия или узла вручную.

в-третьих, после операций, на которых имеется вероятность получения брака, а также после операций сборки методом регулировки вводится обязательный контроль.

Руководствуясь этими соображениями и технологической схемой сборки, расчленяют процесс сборки узла или изделия на технологически неделимые элементы и определяют оперативное время, необходимое для выполнения каждого такого элемента. Элементы соединяют в последовательном порядке в операции так, чтобы сумма оперативных времен элементов была приблизительно равна действительному темпу сборки (с учетом времени передвижения конвейеров периодического действия). Если оперативное время больше темпа, то его стараются сделать кратным темпу и прибегают к параллельному выполнению данной операции путем дублирования рабочих мест. При поточной сборке с передачей собираемого изделия или узла от одного сборочного места к другому вручную выполнение операции может быть осуществлено по схеме, показанной на фиг. 230. Операции *1*, *2*, *4* и *5* подобраны в соответствии с темпом сборки; время на операцию *3* больше темпа и кратно ему; эта операция выполняется на двух рабочих местах (*3*, *а* и *3*, *б*); темп работы сборочной линии в этом случае не нарушается, так как рабочие места *3*, *а* и *3*, *б* получают со сборочного места *2* собираемое изделие с интервалом, равным темпу, и, хотя длительность выполнения операции на каждом из этих рабочих мест (*3*, *а* и *3*, *б*) равна удвоенному темпу, сборочное место *4* получает со сборочного места *3* собираемое изделие через интервалы, равные темпу.

При конвейерной сборке простое раздвоение потока невозможно и дублирование рабочих мест осуществляется по схеме, показанной

на фиг. 231. В этом случае сборочное место *3* имеет удвоенную длину сравнительно с остальными сборочными местами $l_1 = 2l$ и его обслуживают двое рабочих. Когда первый из них начинает выполнять операцию в положении *3*, *а*, второй выполнил уже ее на 50% и находится в середине места (положение *3*, *б*); когда второй рабочий подходит вместе с движущимся конвейером к сборочному месту *4*, первый рабочий приближается к середине сборочного места *3* (положение *3*, *б*); передав собираемое изделие на место *4*, второй рабочий переходит к исходной точке (положение *3*, *а*); в это время первый рабочий находится в середине сборочного места *3б*, и цикл повторяется.



Фиг 231. Схема параллельного выполнения операции при конвейерной сборке

Расчленив процесс сборки на операции в соответствии с действительным темпом сборки, устанавливают нормы времени на выполнение каждой операции и соответствующий разряд работы. В связи с тем, что достигнуть одинаковой нормы времени для всех операций практически не удается, возникают технологически неизбежные простои, которые выявляются при определении коэффициентов загрузки — отдельно сборочного места и всей поточной линии [формулы (150) и (151)].

Разработанный технологический процесс не только должен обеспечивать качественное выполнение сборки в соответствии с техническими требованиями, предъявляемыми к собираемому изделию, но и должен быть эффективным и рентабельным для заданных производственных условий.

Оценка запроектированных технологических процессов сборки при выборе вариантов или при сопоставлении с процессами сборки аналогичных изделий производится по абсолютным показателям: по трудоемкости операций и всего сборочного процесса (или по производительности, являющейся величиной, обратной трудоемкости), а также по себестоимости выполнения отдельных сборочных операций и всего технологического процесса сборки [1].

В качестве относительных показателей для оценки технологических процессов сборки можно принять:

а) коэффициент загрузки каждого сборочного места и средний коэффициент загрузки сборочной линии, которые определяем по формулам (150) и (151);

б) коэффициент трудоемкости сборочного процесса $\varphi_{сб}$, который определяют как отношение трудоемкости процесса сборки $T_{сб}$

[1] См. ниже, § 3 этой главы

к суммарной трудоемкости процессов производства всех деталей, входящих в изделие или узел $T_{дет}$,

$$\varphi_{сб} = \frac{T_{сб}}{T_{дет}}.$$

Этот коэффициент характеризует процесс производства изделия или узла в целом. Чем меньше значение коэффициента $\varphi_{сб}$, тем лучше проработаны и увязаны между собой процессы производства деталей изделия и его сборки. Однако необходимо учитывать то обстоятельство, что повышение производительности труда при производстве деталей машин, снижая значение $T_{дет}$, увеличивает $\varphi_{сб}$, если одновременно не проводятся технологические мероприятия, снижающие трудоемкость процессов сборки; в связи с этим значение $\varphi_{сб}$ колеблется в широких пределах 0,1—0,4 и даже выше. Необходимо также отметить, что с развитием производственного кооперирования в машиностроении коэффициент $\varphi_{сб}$ теряет значение показателя, характеризующего процесс производства в целом.

Взамен коэффициента трудоемкости сборочного процесса в условиях кооперированного производства можно предложить коэффициент себестоимости сборки φ_s, определяемый отношением себестоимости сборки $S_{сб}$ к себестоимости изделия или узла в целом (включая и себестоимость сборки) $S_{изд}$; при этом

$$\varphi_s = \frac{S_{сб}}{S_{изд}}$$

более надежно характеризует удельное значение процесса сборки в общем процессе производства данного изделия, отражая участие не только живого, но и овеществленного труда.

Основными технологическими мероприятиями, повышающими технико-экономические показатели процессов сборки, являются: замена в максимально возможной степени ручных операций механизированными операциями; широкое применение сборочных и контрольных приспособлений; ликвидация или возможное уменьшение технологически неизбежных простоев путем соответствующего перераспределения технологических переходов между операциями с целью возможно большей увязки оперативного времени с темпом сборки.

Технологическая документация процессов сборки включает сборочные чертежи, технологические схемы узловой и общей сборки, сборочные операционные карты, сборочные инструкционные карты.

В сборочной операционной карте дается общий план операций технологического процесса сборки; в ней содержатся также данные, необходимые для выполнения технологического процесса сборки.

Сборочные инструкционные карты составляются на отдельные операции в случае особой их сложности и содержат подробные указания, относящиеся к выполнению операции. В инструкционной карте указываются нормы времени на каждый отдельный прием работы.

§ 2. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПРОИЗВОДСТВА ДЕТАЛЕЙ МАШИН

Основные направления при проектировании технологических процессов и выборе методов производства деталей машин.

Технологический контроль рабочих чертежей. Соображения о выборе способа автоматического или индивидуального получения заданных размеров. Выбор метода выполнения заготовки, первоначальная наметка базирующих поверхностей и общего плана процесса обработки.

Одноперехолные и многопереходные станочные операции. Одноместная и многоместная обработка на станках. Одноинструментная и многоинструментная наладка станков Проектирование станочной операции и многоинструментной наладки станков.

Содержание заданий на проектирование специальных станков. Групповые поточные линии в серийном производстве Групповые наладки станков в серийном производстве. Основы проектирования групповых наладок на револьверных, карусельных, многорезцовых, фрезерных и сверлильных станках. Проектирование групповых технологических процессов; технологическая документация и ее значение для производства

Обеспечение выпуска из производства деталей машин, полностью отвечающих предъявляемым к ним техническим требованиям, является основной задачей при разработке технологических процессов. Возможное уменьшение трудоемкости процессов производства, экономия материалов и снижение себестоимости при заданном выпуске деталей машин являются основными направлениями при проектировании технологических процессов и выборе методов производства.

Иначе говоря, запроектированный технологический процесс должен обеспечить при наименьшей себестоимости качество продукции, в полной мере соответствующее ее служебному назначению и условиям эксплуатации.

При проектировании технологических процессов на повышенный сравнительно с существующим выпуск необходимо учитывать, что задача повышения выпуска не должна решаться простым умножением числа единиц оборудования на коэффициент повышения выпуска.

В этом случае должно быть предусмотрено повышение технологического уровня производства путем разработки соответствующих технологических и организационных мероприятий, а в ряде случаев должны быть изысканы новые технологические решения.

Разработку технологических процессов в машиностроении начинают с тщательного изучения и технологического контроля рабочих чертежей в свете указанных направлений. Технолог должен проверить наличие на чертеже всех данных, необходимых для изготовления изделия.

Применительно к деталям машин рабочие чертежи должны содержать проекции, разрезы и сечения, обеспечивающие полное представление о конструктивных формах детали; размеры с указанием допускаемых отклонений; классы чистоты обрабатываемых поверх-

ностей; допускаемые отклонения от правильных геометрических форм; допускаемые пространственные отклонения во взаимном положении элементарных поверхностей детали; вид и марку материала, применяемого для изготовления детали; вес детали с указанием, если это нужно, допускаемых отклонений, прочие технические требования, предъявляемые к детали и ее элементам (применяемая термообработка, твердость, покрытие поверхностей, балансировка и т п.).

Затем технолог должен проанализировать конструкцию детали в свете технологических требований, предъявляемых к конструктивному оформлению деталей машин, изложенных в предшествующей главе.

Попытка охватить одновременно все вопросы, связанные с анализом рабочих чертежей, может привести к тому, что некоторые недостатки останутся незамеченными. Поэтому рекомендуется при проверке и анализе рабочих чертежей решить в последовательном порядке следующие вопросы.

1 Не представляет ли рассматриваемая конструкция технологических трудностей при ее осуществлении и нельзя ли ее упростить без ущерба для служебного назначения детали? Одновременно проверяется наличие всех необходимых для изготовления детали проекций, разрезов и сечений.

2. Не представляется ли более целесообразным заменить рассматриваемую деталь армированной конструкцией, сварным или сборным узлом? Разумеется, что при этом должен быть пересмотрен в ряде случаев и вопрос о материале, применяемом для изготовления детали.

3. Возможно ли применение высокопроизводительных технологических методов при производстве анализируемой детали и не ограничивает ли ее конструкция режимных условий обработки?

4. Все ли размеры и классы чистоты, необходимые для изготовления детали, нанесены на чертеж и возможно ли непосредственное измерение заданных размеров?

5. Не возникает ли технологических трудностей при выдерживании заданных допусков на размеры и требуемой чистоты поверхностей? Увязаны ли они технологически, т. е. не потребуются ли дополнительные операции для получения указанной на чертеже чистоты поверхностей и вызывается ли это действительной необходимостью?

6. Достаточно ли обоснованы допускаемые отклонения от правильных геометрических форм и увязаны ли они с геометрическими погрешностями станков?

7 Не вызовут ли технологических трудностей допускаемые пространственные отклонения и могут ли они быть выдержаны без усложнения технологического процесса?

8. Какие дополнительные операции должны быть введены при выдерживании предъявляемых к детали специфических технических требований (например, допустимых отклонений в весе детали)?

Нет ли необходимости изменить в той или иной степени эти требования?

Разумеется, что для решения всех этих вопросов необходимо знать назначение детали и условия ее работы в собранном изделии. Поэтому нельзя ограничиваться изучением и анализом только рабочего чертежа детали, а следует также изучить узел, в который она входит, и роль детали в собранном изделии.

Технологический контроль рабочих чертежей производится на базе материалов, изложенных выше, в главе III, § 1 «Характеристика технологических методов производства деталей машин» и главным образом применительно к содержанию § 2 главы V «Технологические требования, предъявляемые к конструктивному оформлению деталей машин».

Материал детали и объем выпуска определяют метод выполнения заготовки, который предварительно выбирается с учетом области применения каждого метода; конфигурации, размеров и веса детали, стойкости штампов, кокилей или пресс-форм, а также других характеризующих признаков. Выбранный метод должен быть согласован с соответствующим технологом-заготовителем (кузнецом, сварщиком, литейщиком). При этом возможны изменения в чертежах, учитывающие условия выполнения заготовок.

От вида принятой заготовки зависит построение процесса ее дальнейшей обработки. В частности, с методом выполнения заготовки связан вопрос о применении в процессе механической обработки метода автоматического получения заданных размеров или метода индивидуального их получения.

Метод индивидуального получения размеров при механической обработке применяют обычно для заготовок, изготовляемых также методом индивидуального получения размеров (поковок свободной ковки, крупных отливок в землю при формовке по деревянной модели); обработка таких заготовок методом автоматического получения размеров на предварительно настроенных станках с установкой в приспособлениях затруднительна из-за широких допусков на размеры и грубых пространственных отклонений. Более точные заготовки, изготовляемые методом автоматического получения размеров (горячая штамповка, отливка в металлические формы и т. д.), обрабатываются также методом автоматического получения размеров.

Принятый метод получения размеров предъявляет к чертежу свои требования. Часто в зависимости от выбранной измерительной базы изменяется простановка размеров на чертеже или возникает необходимость во внесении в него новых размеров.

Точность заготовки в зависимости от метода ее выполнения и технические требования, предъявляемые к детали, определяют общие контуры технологического процесса механической обработки и расчленение его на этапы черновых, чистовых и отделочных операций.

Станки, на которых производится обдирочная и черновая обработка, вследствие переменной нагрузки при резании в связи с боль-

шими и неравномерными припусками теряют точность и не могут обеспечить выполнение требований, предъявляемых к чистовой обработке. Поэтому иногда целесообразно разделять черновые и чистовые операции и выполнять их на разных станках хотя бы и одного типоразмера. Однако не всегда такое расчленение может быть признано целесообразным; в частности, оно не оправдано при обработке тяжелых деталей, когда каждая новая установка требует значительной затраты времени, а также в тех случаях, когда методы выполнения заготовок обусловливают небольшие и достаточно равномерные припуски, не вызывающие резкой разницы в черновой и чистовой обработке.

Примером целесообразного разделения черновых и чистовых операций может служить точная обработка недостаточно жестких деталей, когда следует предусматривать раздельную черновую и чистовую обработку с применением между ними, в целях стабилизации размеров, естественного или искусственного старения для снятия внутренних напряжений.

Отделочные операции в связи с их спецификой обычно отделяются от чистовой обработки. Однако в тяжелом машиностроении тонкую обработку выполняют часто на тех же станках, на которых производилась чистовая обработка.

Общие контуры технологического процесса механической обработки определяются, следовательно, в зависимости от конфигурации, размеров, веса детали, метода выполнения заготовки и предъявляемых к детали технических требований. При этом можно руководствоваться следующими соображениями. В первую очередь намечаются базирующие поверхности, которые должны быть обработаны в самом начале процесса. Для обработки базирующих поверхностей должна быть выбрана первичная черная база. Во всех случаях, когда это возможно, за первичную базу принимают удобные для установки черные поверхности, которые в дальнейшем не подвергаются обработке. Если таких поверхностей у детали нет, то предусматривают специальные приливы и бобышки, служащие первичной базой; принимают также за первичную базу черные, обрабатываемые в дальнейшем поверхности, положение которых по чертежу детали определено размером, заданным от обрабатываемой базирующей поверхности.

Например, при обработке корпусных деталей за установочную базовую поверхность принимается обычно плоскость основания, для обработки которой за первичную базу принимаются либо основные отверстия детали, либо противолежащая плоскость. В целях уменьшения пространственных отклонений между базирующими поверхностями их следует обрабатывать с одной установки (например, перпендикулярные опорную и направляющую базы) или обеспечивать это требование иными способами.

При выборе баз руководствуются указаниями, изложенными в § 2 главы II «Установка заготовок для обработки на станках».

Учитывая возможное появление деформаций в результате перераспределения внутренних напряжений, рекомендуется сначала обрабатывать поверхности, к которым не предъявляется жестких требований точности, а затем более точные поверхности. Однако в целях своевременного выявления брака по раковинам и другим дефектам металла, сначала производят черновую, а если потребуется, то и чистовую обработку поверхностей, на которых не допускаются эти дефекты, и в случае их обнаружения заготовку либо бракуют без дальнейшей излишней затраты труда, либо, если возможно, своевременно исправляют обнаруженные дефекты. Отделочные операции производят в самом конце технологического процесса.

В целях сокращения длины пути перемещения деталей в цехе и во избежание возвратных движений порядок операций устанавливают с учетом расположения оборудования в цехе, если это не оказывает отрицательного влияния на конечные результаты обработки.

Технологические процессы обработки элементарных поверхностей детали определяют в результате расчета припусков на обработку, на базе которого устанавливают, с учетом заданной точности и чистоты обработки, необходимые технологические переходы.

Расчет припуска на первый технологический переход с учетом всех погрешностей заготовки и предъявляемые к обрабатываемой поверхности требования определяют возможность ограничиться однократной обработкой или необходимость выполнения черновой и чистовой обработки. В тех случаях, когда целесообразно по тем или иным соображениям деление стружки или включение дополнительного прохода в связи с узкими допусками на погрешности формы и пространственные отклонения, целесообразно производить черновую, получистовую и чистовую обработки.

Необходимость отделочной обработки и выбор ее методов определяются техническими требованиями, предъявляемыми к обрабатываемой поверхности.

После расчета промежуточных припусков на обработку и определения необходимых технологических переходов подсчитывают промежуточные размеры заготовки по всем технологическим переходам, от готовой детали до черной заготовки включительно; при этом исходными являются размеры, заданные рабочим чертежом детали, а расчет ведут от конечного технологического перехода к заготовке (см. стр. 289).

Допуски на промежуточные размеры назначают в соответствии с той точностью, которую могут обеспечить выбранные для технологических переходов методы обработки (см. приложения 5а и 5б). Однако в сомнительных случаях необходимо проверять ожидаемую точность расчетом (см. главу II, § 3 или 4). Этим заканчивается работа, предшествующая проектированию станочных операций, которые могут быть построены как одноперехо́дные или многопереходные. Вместе с тем операция может быть запроектирована для одноместной обра-

ботки, когда на станок устанавливается только одна заготовка, или многоместной обработки, когда на станок устанавливаются две или несколько заготовок. В последнем случае обработка производится станко-партией, под которой понимают количество заготовок, одновременно установленных для обработки на станке. Заготовки могут обрабатываться параллельно, последовательно или параллельно-последовательно. Обработка при этом может быть осуществлена при одноинструментной и многоинструментной настройке станка с последовательным, параллельным или параллельно-последовательным порядком его работы в обоих случаях.

Учитывая изложенное, можно дать следующие определения.

Однопереходная операция характеризуется обработкой одной поверхности у одной или нескольких деталей одним или несколькими одинаковыми инструментами.

Многопереходная операция характеризуется обработкой нескольких поверхностей у одной или нескольких деталей одним или несколькими инструментами либо обработкой одной поверхности у одной или нескольких деталей несколькими разными инструментами.

Обычно технологический процесс включает как одноперехолные, так и многопереходные операции.

Проектирование станочных операций затруднительно без систематизации всего многообразия возможных при построении этих операций технологических решений. Систематизация этого обширного материала в виде приведенных в табл. 6 и 7 характеристик одноперехолных и многопереходных операций значительно упрощает решение сложной задачи рационального построения станочных операций с учетом определенных производственных условий [105].

При выборе варианта построения операции рекомендуется пользоваться методом исключения. Исключение вариантов при предварительном их отборе производится по ряду признаков.

Конфигурация и габариты обрабатываемой заготовки определяют возможную станко-партию, порядок расположения заготовок на столе станка или в приспособлении (параллельный, последовательный или параллельно-последовательный), сложность наладки станков и величину холостых ходов при многоместной обработке.

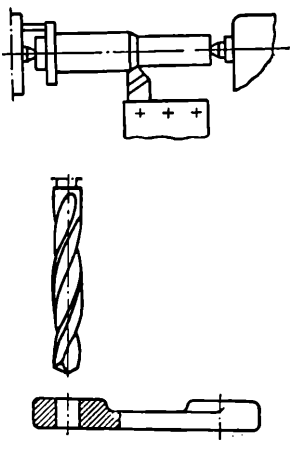
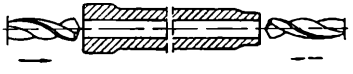
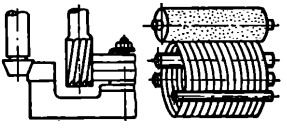
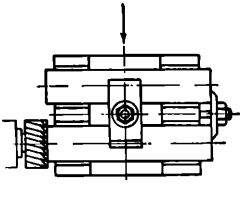
Рациональное совмещение технологических переходов определяется в зависимости от взаимного расположения обрабатываемых поверхностей и возможного размещения инструментов. Особенности конструкции заготовки, например ее нежесткость, могут служить причиной отказа от одновременного (параллельного) выполнения переходов.

Учитывая, что высокие точность и чистота поверхностей могут быть получены отделочной или тонкой обработкой, ее выделяют в особую операцию, либо по меньшей мере в особый переход.

Объем заданного выпуска определяет принимаемые методы обработки, а порядок технологических переходов определяется при расчете припусков на обработку с учетом определенного вида заготовки.

Таблица 6

Характеристика одноперехо́дных станочных операций

Операция	Пример
Одноместная обработка одной поверхности одним инструментом	
Одноместная обработка одной поверхности несколькими одинаковыми инструментами параллельно	
Многоместная обработка одной поверхности одним инструментом параллельно	
Многоместная обработка одной поверхности одним инструментом последовательно	

Продолжение табл. 6

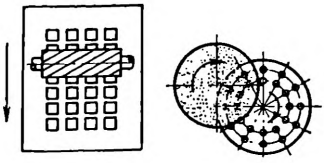
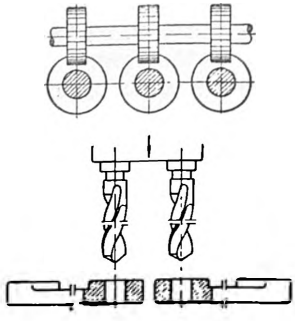
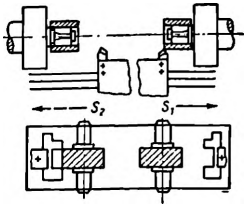
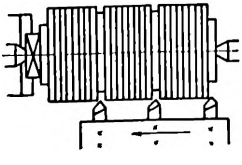
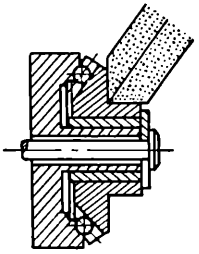
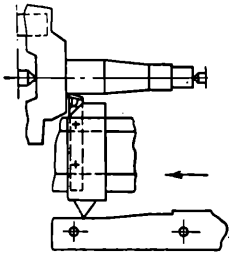
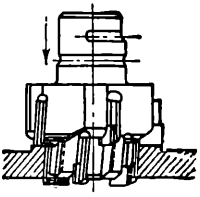
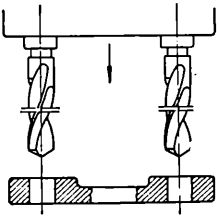
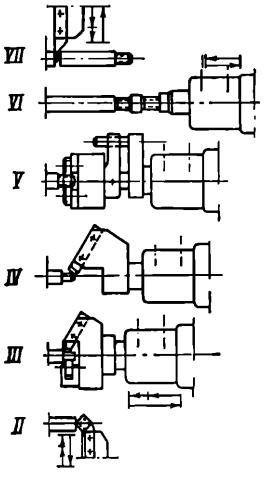
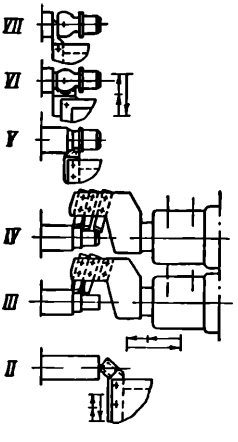
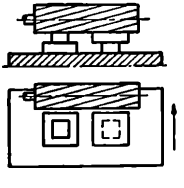
Операция	Пример
Многоместная обработка одной поверхности одним инструментом параллельно-последовательно	
Многоместная обработка одной поверхности несколькими одинаковыми инструментами параллельно	
Многоместная обработка одной поверхности несколькими одинаковыми инструментами последовательно	
Многоместная обработка одной поверхности несколькими одинаковыми инструментами параллельно-последовательно	

Таблица 7

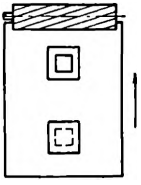
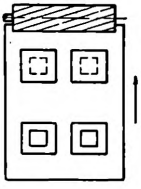
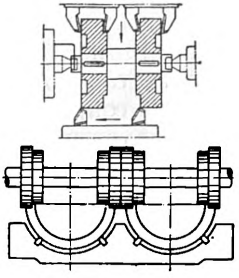
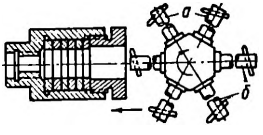
Характеристика многопереходных станочных операций

Операция	Пример
Одноместная обработка нескольких поверхностей одним простым или комбинированным инструментом параллельно	
Одноместная обработка нескольких поверхностей одним простым или комбинированным инструментом последовательно	
Одноместная обработка нескольких поверхностей одним комбинированным инструментом параллельно-последовательно	
Одноместная обработка нескольких поверхностей несколькими инструментами параллельно	

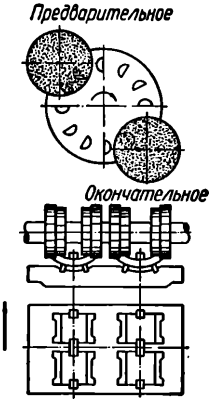
Продолжение табл. 7

Операция	Пример
Одноместная обработка нескольких поверхностей несколькими инструментами последовательно	
Одноместная обработка нескольких поверхностей несколькими инструментами параллельно-последовательно	
Многоместная обработка нескольких поверхностей одним инструментом параллельно (с перекладкой заготовок)	

Продолжение табл. 7

Операция	Пример
Многоместная обработка нескольких поверхностей одним инструментом последовательно (с перекладкой заготовок)	
Многоместная обработка нескольких поверхностей одним инструментом параллельно-последовательно (с перекладкой заготовок)	
Многоместная обработка нескольких поверхностей несколькими инструментами параллельно	
Многоместная обработка одной поверхности несколькими разными инструментами последовательно; *а* и *б* — дублированные наладки	

Продолжение табл. 7

Операция	Пример
Многоместная обработка нескольких поверхностей несколькими инструментами параллельно-последовательно	

В случае проектирования процесса для действующего производства необходимо учитывать наличное оборудование и его загрузку.

Оставшиеся после отбора варианты операций, применение которых в данном случае возможно, сопоставляются по производительности с учетом, конечно, заданного выпуска. При отборе вариантов построения станочных операций в целях повышения производительности оставляют те из них, которые обеспечивают возможность сокращения расчетной длины обработки. Расчетная длина обработки может быть сокращена, например, путем многорезцового обтачивания и двустороннего сверления, применением многониточной фрезы вместо дисковой резьбовой фрезы или резца при нарезании резьбы, а также применением метода радиальной подачи при обработке тел вращения. Производительность станочных операций эффективно повышается также за счет уменьшения доли вспомогательного времени в штучном путем полного перекрытия основным временем и путем уменьшения его продолжительности. Например, применяя винторезные головки с разжимными плашками и гайкорезные головки с утопающими плашками, исключают необходимость реверсирования и значительно сокращают холостой ход.

Для сопоставления проектируемых вариантов операций по производительности можно ограничиться сравнением штучного времени операции, на которой выполняется наибольший объем механической обработки, с суммой штучных времен операций, охватывающих тот же объем обработки при другом варианте.

Выбор варианта операции определяет тип станка и его наладки (одноинструментная или многоинструментная наладка), а также тип приспособления для установки обрабатываемых заготовок (одноместное или многоместное приспособление).

Типичным для способа индивидуального получения заданных размеров является построение станочной операции с одноместной обработкой; для нее характерно: 1) совмещение ряда последовательных технологических переходов, выполняемых одним или несколькими последовательно сменяемыми инструментами; 2) совмещение нескольких технологических переходов, выполняемых несколькими инструментами параллельно на многосуппортных токарных или строгальных станках и многошпиндельных продольно-фрезерных станках; при этом операция выполняется иногда за несколько установов.

Многоместная обработка при способе индивидуального получения заданных размеров несколько усложняет установку заготовок необходимостью выверки и применяется поэтому лишь в тех случаях, когда многоместной обработкой достигается сокращение штучного времени, т. е. когда выигрыш в машинном времени перекрывает повышенные затраты вспомогательного времени. При этом последовательное расположение заготовок может быть оправдано лишь в тех случаях, когда конфигурация заготовок исключает большие холостые пробеги и достигается сокращением времени на врезание и сход инструмента; параллельное расположение заготовок оправдывается при возможности производить параллельную их обработку несколькими инструментами, например на продольно-строгальных станках с двумя вертикальными и двумя боковыми суппортами.

В тяжелом машиностроении применяется также параллельная обработка нескольких элементарных поверхностей заготовки посредством переносных агрегатных силовых головок и станков, устанавливаемых либо на самой заготовке, либо на той же плите, на которой установлена обрабатываемая заготовка; в этом случае машинное время определяется наиболее длительным технологическим переходом, перекрывающим машинные времена остальных переходов.

Таким образом намечаются операции, совокупность которых представляет собой технологический процесс обработки детали.

Далее производят уточнение операций, т. е. для каждой операции выбирают модель станка в соответствии с размерами обрабатываемой заготовки; решают вопрос о базировании и закреплении заготовки, иногда с проведением расчетов, определяющих ожидаемые погрешности, составляют в необходимых случаях эскиз установки; назначают технологические переходы и инструмент для их выполнения; определяют режимы резания с учетом заданного темпа обработки и назначают квалификационный разряд работы в соответствии с знаниями, умением и навыками, которые требуются для выполнения операции.

Для способа автоматического получения размеров характерно применение многоинструментных наладок.

Проектирование многоинструментной наладки расчленяется на следующие этапы.

1. Составление плана размещения инструмента по переходам и предварительный расчет режимов резания, применительно к заданному темпу обработки.

2. Конструктивная разработка оснастки с окончательной компоновкой инструмента и корректирование режимов резания.

3. Составление наладочной карты, включая размещение инструментов, обозначенных присвоенными им шифрами, подбор необходимых копиров, шестерен и т. п., окончательное уточнение режимов резания и определение штучного времени.

4. Составление рабочих чертежей оснастки.

Проектирование станочной операции и многоинструментной наладки станка сопровождается технологическими расчетами режимов резания, настроечных размеров, действующих сил, жесткости технологической системы, ожидаемой точности обработки при заданных измерительных и принятых установочных базах, величины рабочих и холостых ходов, чисел оборотов и т. п.

Расчет и назначение режимов резания при многоинструментной наладке станка должны обеспечить согласованную работу всех инструментов, участвующих в выполнении проектируемой операции.

Глубина резания определяется припуском на обработку с учетом изложенных уже соображений об однократной или черновой и чистовой обработке.

Подача при обработке жесткой заготовки определяется для каждого инструмента независимо от работы других инструментов; при этом подача суппорта принимается по наименьшей подаче из ряда величин подачи, допустимых для всех инструментов, которыми оснащен данный суппорт (головка, оправка и т. п.). При недостаточно жесткой заготовке подача выбирается, во избежание прогибов заготовки и вибраций, с учетом суммарной силы резания всех участвующих в работе инструментов. Выравнивание времени, затрачиваемого на рабочий ход суппортов, достигается корректированием подач. При этом определяют время рабочего хода лимитирующего суппорта и приравнивают к нему время рабочих ходов остальных суппортов.

Время рабочего хода каждого суппорта

$$t_{px} = \frac{L_{px}}{s}, \qquad (154)$$

где L_{px} — длина рабочего хода суппорта;

s — величина минутной подачи суппорта.

Для лимитирующего суппорта имеем

$$t_{lim} = \frac{L_{lim}}{s_{lim}}.$$

Приравнивая время рабочего хода каждого суппорта к времени рабочего хода лимитирующего суппорта, получаем

$$\frac{L_{\text{lim}}}{s_{\text{lim}}} = \frac{L_{px}}{s},$$

откуда искомая минутная подача суппорта s равна:

$$s = s_{\text{lim}} \frac{L_{px}}{L_{\text{lim}}}, \qquad (155)$$

где s_{lim} — минутная подача лимитирующего суппорта;

L_{px} — длина рабочего хода суппорта, для которого определяется подача;

L_{lim} — длина рабочего хода лимитирующего суппорта.

Длина рабочего хода определяется как сумма длин подвода, врезания, резания и схода инструмента.

При расчете скоростей резания предварительно определяются скорости резания и числа оборотов для всех инструментов отдельно без учета многоинструментной настройки.

Для одношпиндельных и многошпиндельных станков с общим числом оборотов всех шпинделей (токарные автоматы и полуавтоматы) принимают число оборотов по лимитирующему инструменту.

Для станков с общей минутной подачей (многошпиндельные сверлильные станки и головки) при определении скорости резания исходят из минутной подачи по лимитирующему инструменту.

Для станков с независимыми числами оборотов и минутными подачами (многошпиндельные вертикальные полуавтоматы, агрегатные станки) принимают скорости резания и числа оборотов в минуту, дающие при рассчитанной подаче время рабочего хода каждого суппорта или шпинделя, равное времени рабочего хода суппорта или шпинделя, несущего лимитирующий инструмент.

При проектировании технологических операций для многостаночного обслуживания должны быть соблюдены следующие условия:

а) при параллельной обработке поверхностей заготовки необходима непрерывность обработки до конца рабочего хода суппорта, а при последовательной или параллельно-последовательной многоинструментной настройке станка — автоматичность переключения станка;

б) времена выполнения всех операций, составляющих загрузку группы станков многостаночного обслуживания должны быть равны между собой или кратны наименьшему;

в) время рабочего хода суппорта должно быть равно или больше суммы времени, затрачиваемого на снятие и установку заготовок ($t_{с\,ц}$), и времени, затрачиваемого на переход рабочего $t_{перех}$ от станка к станку ($t_{px} \geqslant t_{с\,ц} + t_{перех}$);

г) станки должны обладать механизмом автоматического выключения подачи при окончании рабочего хода суппорта.

Эти требования диктуются условиями работы при многостаночном обслуживании.

Проектирование технологических процессов производства машин и их элементов является творческой деятельностью технолога; поэтому не могут быть созданы какие-либо правила, общие для всех случаев разработки технологических процессов. В результате творческой инициативы технологов-проектантов создаются иногда новые технологические решения и новые типы технологического оборудования.

Изложенные основные направления и руководящие указания имеют целью лишь облегчить труд технолога при разработке им технологических процессов и обеспечить рациональное решение этой сложной задачи с наименьшей затратой времени.

В условиях массового и крупносерийного производства в ряде случаев представляется целесообразным запроектировать технологическую операцию на специальном станке. В каждом подобном случае должно быть разработано задание на проектирование данного специального станка. Заданием определяется: 1) тип станка с краткой характеристикой его конструкции; 2) назначение станка с указанием наименования и номера детали и операций по технологическому процессу, для которой станок предназначается; 3) производительность в штуках (деталях) в час или смену; 4) характеристика обрабатываемого материала (его марка, предел прочности и твердость); 5) общее число позиций, включая загрузочные позиции; 6) ориентировочные режимы обработки, т. е. глубины резания, скорости подачи, скорости резания, числа оборотов и величины рабочих ходов по отдельным позициям с указанием величин, в пределах которых должна быть обеспечена возможность регулирования при настройке станка; 7) характеристика смазочно-охлаждающей жидкости, способ ее подачи, рабочее давление и расход жидкости в единицу времени; 8) указания о применяемом приспособлении — специальном или нормализованном со ссылкой на нормаль, об автоматическом или ручном закреплении заготовки и о применяемом приводе (пневматический, гидравлический или электрический) при автоматическом закреплении заготовки; 9) характеристику тока для питания электродвигателя; 10) указание о кнопочном или рычажном управлении станком; 11) особые условия техники безопасности, вызываемые спецификой обрабатываемой детали и режимами обработки.

К заданию на проектирование специального станка должны быть приложены следующие материалы: 1) чертежи заготовки в том виде, в каком она поступает на операцию, для которой проектируется станок, и после выполнения этой операции; в чертеже указывается вес заготовки, размеры с допусками и чистота поверхностей до и после обработки; должны быть показаны принятыми условными обозначениями — базирующие поверхности и места крепления заготовки. При проектировании многопозиционного станка чертежи должны быть даны для каждой позиции; 2) чертежи или эскизы специального

инструмента, если он применяется при выполнении проектируемой операции; 3) карта технологического процесса обработки детали, для которой проектируется станок; 4) карта выполняемой на проектируемом станке операции, включая все технологические переходы; 5) для деталей, находящихся в производстве, рекомендуется приложить операционные карты действующего технологического процесса с указанием нормы штучного времени или нормы выработки, а также основного и вспомогательного времени; 6) технические условия на выполнение проектируемой операции, которые могут быть изложены на эскизе наладки.

При разработке задания на проектирование специального станка необходимо учитывать возможность некоторых изменений как конструкции детали, так и технологии ее обработки. Поэтому целесообразно предусмотреть агрегатный тип станка, обусловливающий в случае необходимости менее сложную замену его элементов и, как было уже сказано, возможность регулирования элементов резания.

Разработка прогрессивных технологических процессов в крупносерийном и серийном производстве имеет свои особенности. Известно, что поточно-массовое производство, особенно автоматизированное, имеет большие технико-экономические преимущества перед серийным производством.

В поточном производстве достигается более высокая производительность труда и более низкая себестоимость изделий за счет применения высокопроизводительного оборудования и технологической оснастки и за счет внедрения новых технологических процессов; при этом сокращается цикл производства и повышается степень использования производственных площадей.

В серийном производстве не удается полностью использовать преимущества поточного производства из-за недостаточного объема выпуска. При небольшом объеме выпуска не может быть обеспечена полная загрузка оборудования одной технологической операцией, и за ним закрепляется несколько операций по обработке одной детали или различных деталей.

При соответствующем построении технологического процесса, удачных конструкциях технологического оснащения и проведении необходимых организационных мероприятий в серийном производстве оказывается целесообразным создание групповых поточных линий.

В групповых поточных линиях оборудование располагается по принципиальному технологическому маршруту закрепленных за линией близких по конфигурации и размерам деталей нескольких наименований; все закрепленные за линией детали обрабатываются на ней периодически пропускаемыми партиями, и в каждый данный момент линия работает как непрерывно-поточная линия. Переход от обработки одной заготовки к обработке другой заготовки возможен иногда без переналадки линии, а в других случаях производится частичная переналадка.

Успех применения поточных линий этого типа и их эффективность по сравнению с обычным серийным производством зависит от затрат времени на переналадку оборудования и степени совершенства технических средств переналадки.

Проектированию технологических процессов для групповых поточных линий предшествует классификация всех изготовляемых деталей по технологическим признакам: 1) по типу применяемого при выполнении основных операций оборудования и его размерам; 2) по методу установки заготовки для обработки и типу необходимого приспособления; 3) по требуемой точности и качеству поверхностей обрабатываемых деталей.

В крупносерийном производстве со значительным объемом выпуска могут быть созданы групповые поточные линии для двух-трех наименований, весьма близких по форме и размерам деталей. Такие групповые поточные линии не требуют переналадки.

При меньшем объеме выпуска за групповой поточной линией закрепляется уже значительное количество наименований деталей, степень технологического подобия которых неизбежно снижается.

Однако такие групповые поточные линии при благоприятных условиях могут работать без переналадки. Оборудование комплектуется и располагается по технологическому маршруту наиболее сложных и трудоемких деталей в группе, а другие детали группы могут обрабатываться с пропуском некоторых станков.

Групповые поточные линии, работающие с переналадкой оборудования и технологической оснастки при переходе к обработке другой детали, носят название переменно-поточных линий. На таких линиях иногда также возможна обработка с одной наладкой нескольких наиболее близких по технологическому процессу деталей.

Групповые поточные линии, в том числе и переменно-поточные, могут быть автоматическими.

Примерами таких линий могут служить автоматическая линия для обработки десяти типоразмеров зубчатых колес и автоматическая линия для обработки валов-роторов электродвигателей восьми типоразмеров.

При одинаковом выпуске валов-роторов в смену на линии по сравнению с изготовлением по старой технологии трудоемкость механической обработки одного вала снизилась с 0,41 до 0,11 часа, а себестоимость — с 2,5 до 1,68 руб. Вместо 19 станков, обслуживаемых 19 рабочими, автоматическую линию из девяти станков обслуживают трое рабочих; средний выпуск валов на единицу оборудования возрос с 18 до 38 шт., а средний выпуск на одного производственного рабочего — с 18 до 114 шт. в смену.

Для внедрения переменно-поточных линий необходимо, чтобы экономия во времени обработки закрепленных за ней деталей была больше затрат времени на переналадку для их изготовления.

Время, необходимое для переналадок линии в течение, например, месяца, определяется, с одной стороны, конструктивно-технологи-

ческими условиями выполнения переналадки, а с другой стороны, числом переналадок за тот же период времени, что обусловливается размером партий запуска деталей и установленной периодичностью запуска.

Для переменно-поточных линий обязательна одинаковая последовательность использования станков при наладке на любую деталь или группу деталей, хотя обработка отдельных деталей возможна, как уже сказано, с пропуском некоторых станков.

Если при изготовлении группы деталей отдельные операции могут выполняться на одних и тех же станках при однотипной наладке, а другие операции требуют различных станков и не могут быть выполнены по групповому технологическому процессу, целесообразно на общих операциях применять групповые наладки. В этом случае в группу нужно подбирать такие детали, для которых операция, выполняемая на станке с групповой наладкой, является основной по трудоемкости.

Если группы деталей со сходным технологическим процессом по основным операциям требуют одинакового оборудования и технологического оснащения, но не могут обрабатываться на групповой поточной линии из-за малой серийности выпуска, их целесообразно обрабатывать по типовому технологическому процессу. В этом случае за счет использования нормализованных приспособлений и инструментальных наладок повышается степень оснащенности технологического процесса, а вместе с этим снижается трудоемкость и себестоимость изготовления деталей.

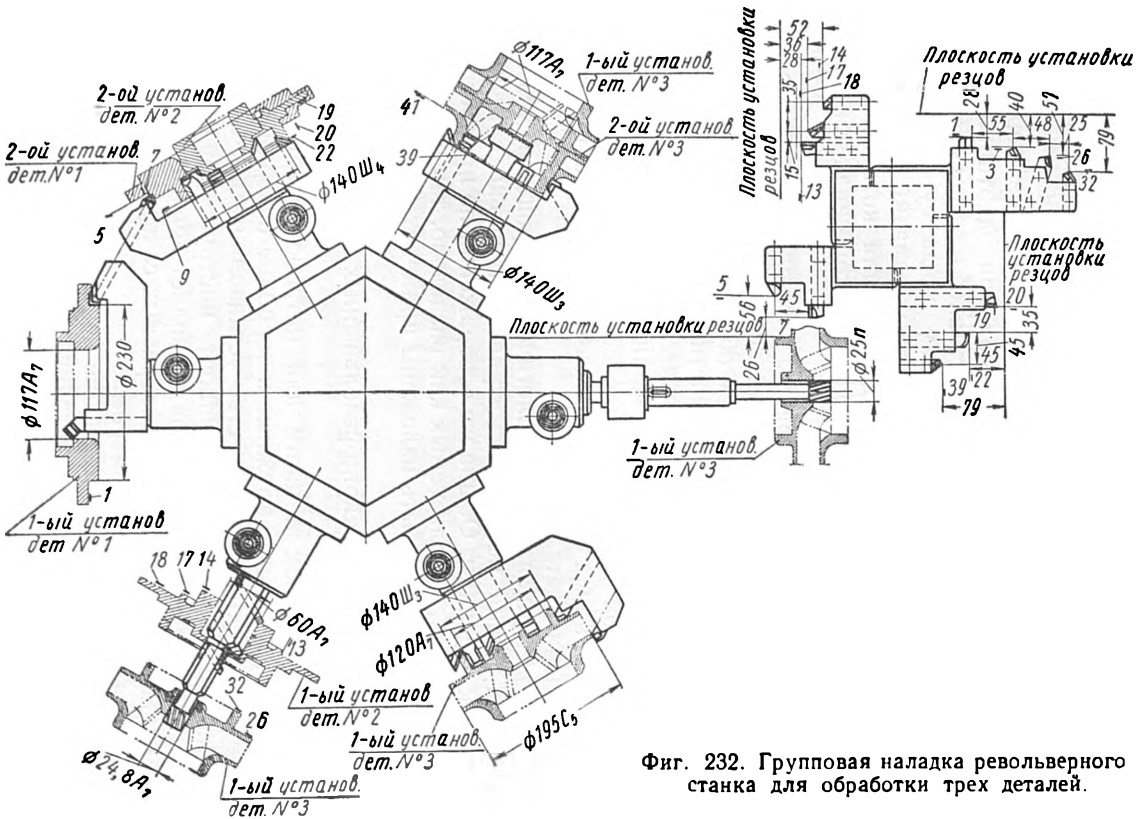
Вопросы проектирования технологических процессов для групповых поточных линий могут рассматриваться только в конкретном приложении к изделиям. Общие же соображения по проектированию групповых наладок, используемых как раздельно, так и в групповых поточных линиях, могут быть изложены применительно к отдельным типам станков [104].

Групповые наладки токарно-револьверных станков имеют много вариантов.

Установка заготовок в цанге или патроне делает доступными для обработки не только наружные и торцовые поверхности детали, но и отверстия. Большое количество устанавливаемых в револьверной головке и в резцедержателе суппорта инструментов при наличии системы независимых инструментов позволяет обрабатывать указанные поверхности деталей при разнообразных сочетаниях их по взаимному положению и по размерам.

Групповые наладки, не требующие переналадки, проектируются так, что на каждую деталь настраивается только часть позиций револьверной головки и суппорта, а в других позициях размещаются инструменты для обработки других деталей группы; при этом некоторые позиции используются для обработки нескольких деталей.

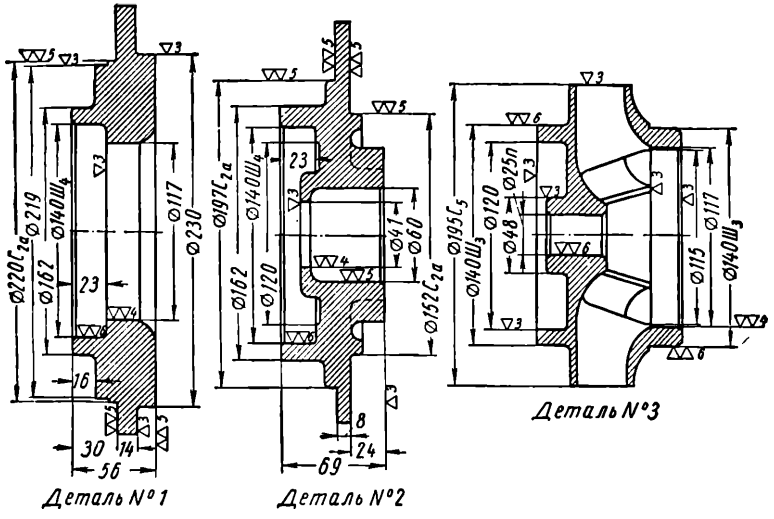
На фиг. 232 приведена наладка револьверного станка на обработку трех деталей, показанных на фиг. 233.



Фиг. 232. Групповая наладка револьверного станка для обработки трех деталей.

Основной в этой наладке является деталь № 3, требующая для своей полной обработки за два установа четырех позиций револьверной головки, оснащенных тринадцатью инструментами, и четырех резцов в суппорте.

Детали № 1 и 2 догружают станок, требуя для полной обработки с двух установов десяти инструментов, размещенных в трех позициях головки, и восьми резцов в суппорте.



Фиг. 233. Детали, обрабатываемые при групповой наладке револьверного станка (фиг. 232).

Групповая наладка позволяет применить высокопроизводительные технологические процессы к серийно изготовляемым деталям, загрузить станок и исключить потери времени на систематические переналадки.

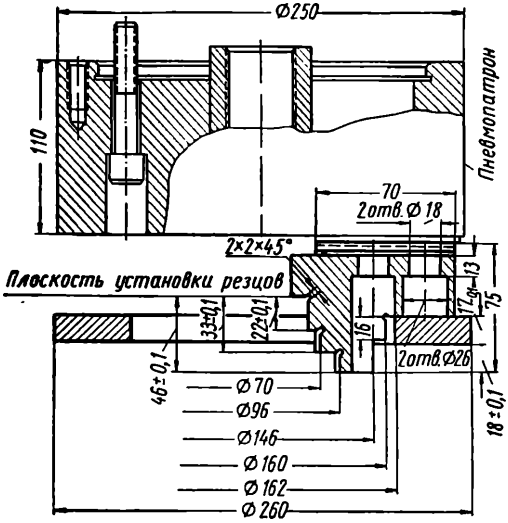
Резцы в суппорте станка для обработки разных деталей или установов располагают от одной базы так, чтобы осуществлять подрезку при постоянном положении суппорта по длине станины; если этого не удается достигнуть, то делают две фиксированные позиции для него.

Установка деталей производится в разных ступенях кулачков, с базированием по наружной или внутренней поверхности. Разная глубина расположения деталей в кулачках позволяет проще решить вопрос размещения инструментов в позициях головки и на суппорте, а также сохранить постоянство положения упоров для позиций головки, с которой обрабатываются несколько деталей.

На фиг. 234 показан кулачок патрона, приспособленный для установки деталей по наружной и внутренней поверхности; промежу-

точное кольцо служит для изменения положения установочной базы на одной из ступеней.

Очень велики возможности создания высокопроизводительных групповых наладок для мелких и средних деталей на револьверных станках с горизонтальной осью вращения головки; наладки этих станков могут включать большое число инструментов, а перевод головки из позиции в позицию очень кратковременен.



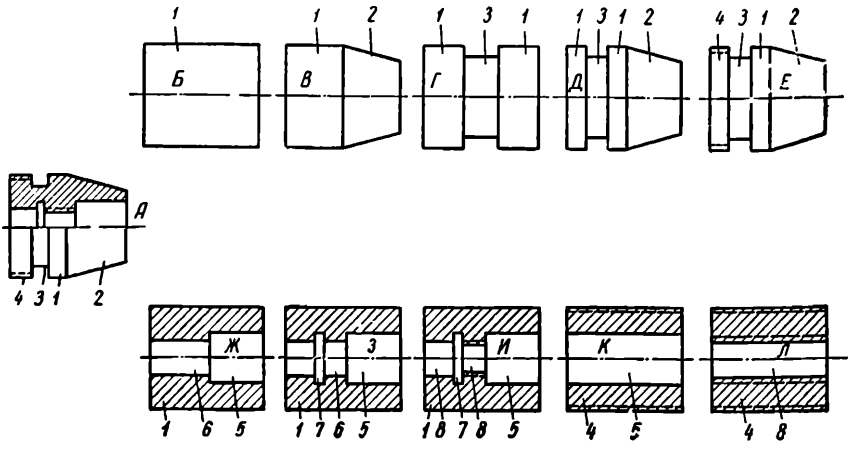
Фиг. 234. Кулачок патрона для закрепления последовательно нескольких деталей при групповой наладке станка.

Идея групповых технологических процессов заключается в том, что для подобранной по признакам конфигурации, размера и требований точности группы деталей, создается так называемая «комплексная деталь», объединяющая в себе обрабатываемые элементы всей группы деталей и для нее разрабатывается технологический процесс с наладкой станка; действительные детали, каждая из которых проще комплексной, будут обрабатываться при этой наладке с пропуском отдельных инструментов и позиций и при незначительной переналадке [104].

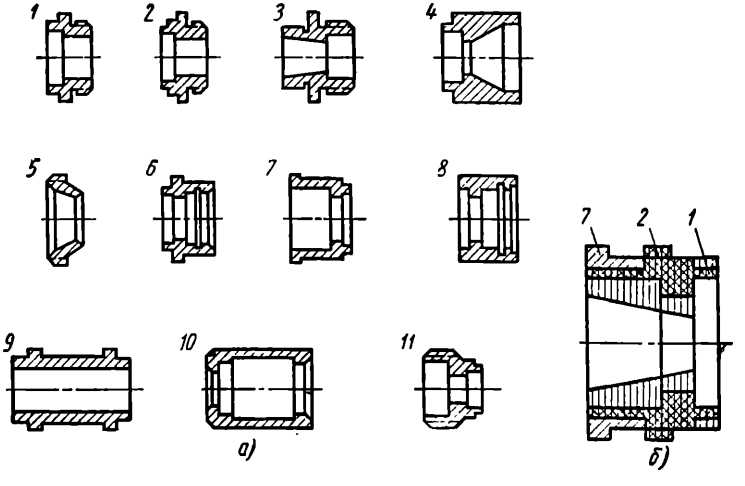
Фиг. 235 иллюстрирует методику создания комплексной детали. В поз. *А* показана комплексная деталь; в поз. *Б—Е* — детали с различным сочетанием элементов наружных поверхностей; в поз. *Ж—Л* — детали с различным сочетанием элементов внутренних поверхностей. Поверхности, аналогичные по методу обработки и близкие по размерам, обозначены одинаковыми цифрами.

На фиг. 236 показана схема получения комплексной детали для группы из 11 деталей (фиг. 236, *а*). В основу был положен чертеж детали № 7, на него наложены чертежи деталей № 2, 1 (фиг. 236, *б*) и т. д. до получения комплексного чертежа.

Переналадку револьверных станков с групповой наладкой целесообразно производить: а) заменой инструментальных блоков в позициях головок и суппортах без регулировки на размер на станке; б) изъятием из наладки инструментов, мешающих обработке других деталей; в) заменой зажимного патрона или фиксированной перестановкой у него кулачков.



Фиг. 235. Методика создания комплексной детали для групповой наладки револьверного станка.



Фиг. 236. Схема получения комплексной детали методом наложения чертежей.

Групповые наладки для токарно-карусельных станков проектировать проще, чем для револьверных. Обычно для загрузки карусельных станков, обрабатывающих крупные и трудоемкие детали, требуется меньшее число наименований деталей. Возможности рационального совмещения переходов возрастают в связи с тем, что у карусельных станков с головкой и с суппортом можно обрабатывать как наружные поверхности вращения, так и торцы.

Следует избегать переналадки установочных приспособлений, так как при больших размерах это требует много времени.

Групповые наладки одношпиндельных токарно-многорезцовых полуавтоматов проектируются с учетом указанных ниже возможностей этих станков.

Групповая наладка может быть создана набором на оправку двух-трех различных деталей, имеющих базовое отверстие (фиг. 237). При этом более полно используются для получения высокой производительности возможности станка по числу устанавливаемых инструментов, мощности и по загрузке.

В некоторых случаях удается две-три детали с отверстиями так разместить на оправке, что их ступени и торцы располагаются аналогично ступеням и торцам другой детали (например, вала).

Возможны групповые наладки, при которых каждая деталь группы обрабатывается резцами, предназначенными только для нее в одной части суппорта (у переднего или заднего центра). Наладка проектируется таким образом, чтобы при обработке одной детали резцы другой детали не доходили до первой детали или проходили, не задевая ее.

Переналадка многорезцовых полуавтоматов на обработку деталей группы осуществляется заменой резцовых блоков или их поворотом на суппорте станка.

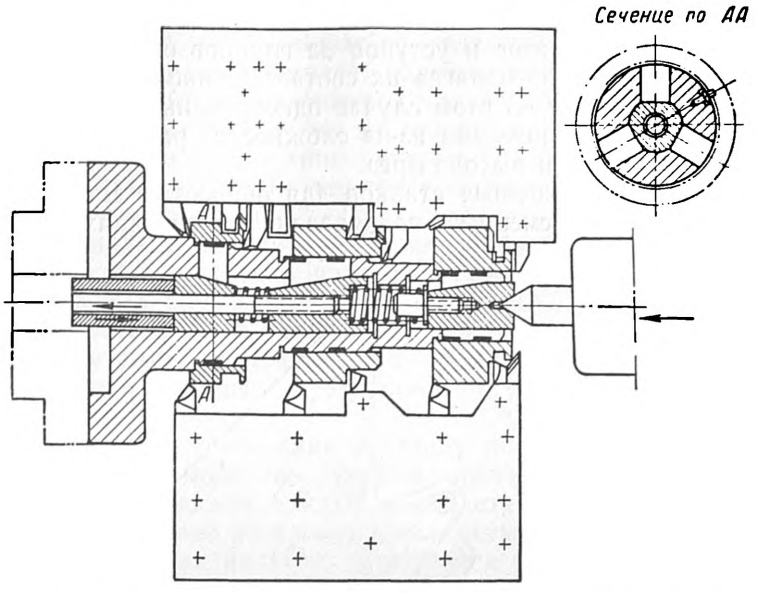
На фиг. 238 показана групповая наладка для обработки валиков разных диаметров и с разными длинами шеек, осуществляемая перестановкой резцовых блоков. Положение блоков по расстоянию от линии центров фиксируется упорными линейками *А*, а по длине — упорными штифтами *Б*.

Поворот блоков может осуществляться на оси с фиксацией штифтом.

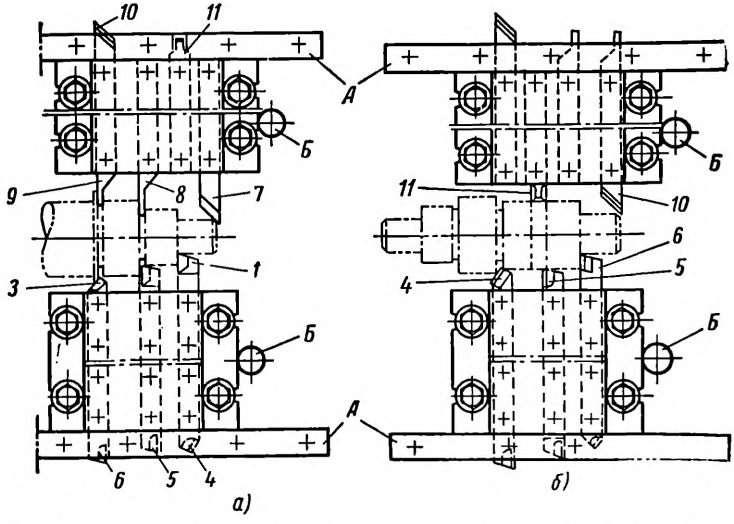
Вертикальные многошпиндельные полуавтоматы налаживаются для групповой обработки также при помощи сменных или поворотных резцовых блоков (плит), устанавливаемых на суппортах. При этом для обработки трех деталей применяются треугольные плиты, с размещением на каждой стороне нужного инструмента.

Групповые наладки фрезерных станков могут быть весьма эффективны.

Для обработки плоских поверхностей на групповой наладке необходимо разместить детали в групповом приспособлении так, чтобы обрабатываемые поверхности расположились в одной плоскости. При этом возможна как одновременная, так и раздельная



Фиг. 237. Групповая наладка многорезцового полуавтомата на обработку трех деталей на оправке.



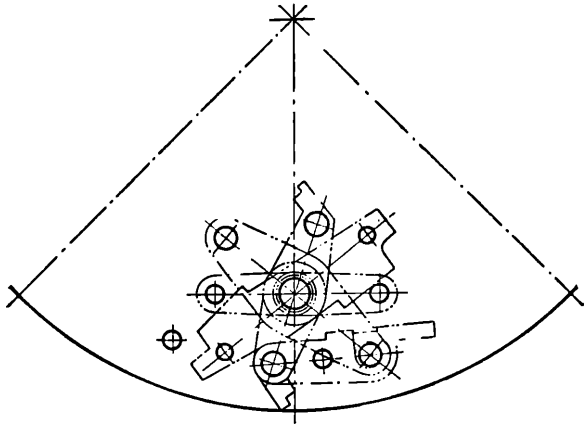
Фиг. 238. Групповая наладка многорезцового полуавтомата с перестановкой резцовых блоков:

а — наладка № 1; работающие резцы — на позициях *1, 2, 3, 7, 8 9*; *б*— наладка № 2; работающие резцы — на позициях *4, 5, 6, 10, 11*.

обработка деталей партии. Для одновременной обработки подбираются детали с близкими по ширине поверхностями.

Для обработки пазов и уступов на групповых наладках применяют наборы фрез, располагая их соответственно позициям групповых приспособлений. В этом случае одновременная обработка разных деталей затруднительна из-за сложностей размещения деталей и свободного входа и выхода фрез.

Переналадка фрезерных станков для обработки деталей партии возможна за счет сменных подналадок, изменяющих положение



Фиг. 239. Схема групповой обработки деталей на специальном многошпиндельном сверлильном станке.

установочных баз; за счет изменения положения стола по фиксированным упорам или фрезерной головки по высоте, в продольном или поперечном направлении; снятием или заменой отдельных инструментов.

Групповые наладки сверлильных станков разрабатываются с целью замены одношпиндельной обработки отверстий многошпиндельной обработкой.

На фиг. 239 показана схема групповой обработки деталей типа рычагов в крупносерийном производстве на специальном многошпиндельном сверлильном станке [106]. В каждой позиции стола закрепляются детали в переналаживаемых приспособлениях.

Размещение шпинделей станка учитывает межосевое расстояние каждой детали и для обработки данной детали только некоторые шпиндели оснащаются инструментами. Другие шпиндели в это время вращаются вхолостую; они будут оснащены инструментом для обработки других деталей.

Некоторые шпиндели по своему расположению могут включаться в обработку нескольких деталей.

Могут применяться многошпиндельные сверлильные головки с установкой на универсальных сверлильных станках. Из общего числа шпинделей, рассчитанных по количеству и по расположению всех отверстий группы деталей, одновременно работают только те шпиндели, которые предназначены для данной операции.

Аналогично, на основе тех же принципов, проектируются групповые наладки на другие типы станков. Проектирование групповых технологических процессов ведется в следующем порядке.

1. Подбирается группа деталей, удовлетворяющих требованиям групповых наладок; намечается маршрут обработки, даются ориентировочные схемы групповых наладок и ориентировочно определяется основное время обработки.

2. Разрабатывается наладка для ведущих по сложности и по объему выпуска деталей группы; затем к ним присоединяются другие детали группы; определяется штучное время и загрузка станка.

3. Уточняются требования к станку и в ряде случаев определяется задание на модернизацию или специализацию универсального станка или на проектирование нового станка.

4. Конструктивно разрабатывается установочное приспособление и инструментальная наладка; уточняются режимные условия обработки и окончательно определяется норма времени.

5. Составляется техническая документация, включающая все данные для обработки каждой детали и компоновочные чертежи.

Технологические процессы описываются и оформляются графически по установленным формам, совокупность которых составляет технологическую документацию.

Единых форм технологической документации не разработано. Каждый машиностроительный завод или проектная организация имеют обычно свои формы документации применительно к типу производства и другим его особенностям. В некоторых случаях формы документации предусмотрены ведомственными руководящими материалами.

К технологической документации по производству деталей машин относятся: рабочий чертеж детали, сводная или маршрутная карта, технологическая карта, операционная или инструкционная карта, карта наладки станка, нормировочная карта, инструментальная карта. Кроме того, составляются операционные эскизы, а в ряде случаев эскизы установок и переходов.

Рабочий чертеж детали должен содержать все данные, необходимые для изготовления детали, и соответствовать требованиям, предъявляемым к конструктивному оформлению деталей машин.

Сводная или маршрутная карта составляется на каждую деталь. Она представляет собой сводку основных данных из операционных карт. В ней отражен маршрут движения детали по цеху, а иногда по всем цехам и складам на протяжении всего процесса ее производства. В этой карте записаны в последовательном порядке все опера-

ции технологического процесса производства детали, и, таким образом, она представляет собой общий план выполнения операций.

Технологическая карта составляется также на каждую деталь с указанием в ней всех операций технологического процесса. Она отличается от сводной или маршрутной карты тем, что в ней дана попереходная разработка операций с указанием установов, позиций и переходов. Наименование перехода определяет краткое содержание выполняемой работы. Рабочие приемы по установке и снятию детали или перевертыванию (перекладке) детали записываются как переходы. Обрабатываемые поверхности указывают условными обозначениями в соответствии с операционными эскизами либо размерами этих поверхностей в соответствии с чертежами готовых деталей. Базирующие поверхности показывают принятыми условными обозначениями.

Операционные карты составляются на каждую операцию, разрабатываемую значительно подробнее, чем в технологических картах, и снабжаются операционными, а иногда и попереходными эскизами. Их называют иногда инструкционными картами, подчеркивая этим наименованием их целевое назначение инструктировать рабочего, выполняющего данную операцию. При выполнении операции на автоматах и полуавтоматах эти карты превращаются в карты наладки станка, а операционные и попереходные эскизы — в чертежи наладки станка.

Нормировочные карты служат исключительно для расчета нормы времени и составляются для каждой операции в установившемся производстве, требующем точного обоснования нормы времени и расценки.

Инструментальные карты содержат перечень приспособлений и инструментов для каждой операции технологического процесса. Они составляются на основе технологических или операционных карт и предназначаются для инструментальных кладовых, снабжающих рабочие места технологической оснасткой.

Те или иные формы рассмотренной документации применяются в зависимости от назначения технологических разработок, в связи с серийностью и объемом выпуска изделий [1].

Опытом установлено, что хорошо разработанная технологическая документация является условием правильного планирования производства и способствует выпуску продукции требуемого качества. Осуществление технологических процессов в полном соответствии с технологическими разработками и соблюдение технологической дисциплины является важнейшим условием успешного освоения новой техники, правильного использования средств производства, экономии времени, труда, материалов и энергии.

---

[1] Формы технологической документации см. Справочник технолога-машиностроителя, т. I, Машгиз, 1956.

§ 3. ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЙ СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПРОЦЕССОВ МЕХАНО-СБОРОЧНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Норма времени, как критерий оценки технологической операции. Понятие о технической норме времени и технической норме выработки. Элементы нормы времени. Формулы для определения штучного и партионного времени. Понятия о хронометраже и фотографии рабочего времени.

Коэффициенты основного времени, подготовительно-заключительного времени; коэффициент использования материала; коэффициент загрузки оборудования; значимость этих коэффициентов при сопоставлении вариантов технологической операции.

Сопоставление по трудоемкости способов индивидуального и автоматического получения заданных размеров. Определение размера партии, равноценной для обоих способов. Трудоемкость как критерий оценки процесса производства.

Понятие о себестоимости детали. Методы определения себестоимости машиностроительной продукции.

Цели технико-экономического анализа процессов производства Система технико-экономических показателей, характеризующих процессы производства

Каждая технологическая операция и технологический процесс в целом могут быть разработаны в нескольких технически равноценных вариантах. Выбор варианта производится на базе технико-экономического сравнительного анализа, путем сопоставления вариантов посредством системы объективных технико-экономических показателей, характеризующих эффективность и рентабельность сравниваемых вариантов.

Операция является основным расчетным элементом технологического процесса, при построении которого время, затрачиваемое на выполнение операции, служит критерием, характеризующим целесообразность ее построения в условиях заданной производственной программы.

Технической нормой времени называют время, необходимое для выполнения технологической операции в определенных организационно-технических условиях, наиболее благоприятных для данного производства.

Техническая норма времени устанавливается в соответствии с эксплуатационными возможностями оборудования, инструмента и других средств производства, при условии применения методов работы, соответствующих современным достижениям производственной техники и с учетом опыта работы новаторов производства.

Делением единицы времени (минуты, часа, смены) на норму времени получаем норму выработки (в данную единицу времени), характеризующую производительность труда.

Технической нормой выработки называют величину, обратную норме времени; выражают ее количеством изделий (или работы), которое должно быть выполнено в единицу времени.

При механизированных процессах производства производительность труда зависит в значительной степени от эксплуатационных возможностей оборудования, которые характеризуются техническими нормами оборудования, т. е. основными параметрами, определяющими

его эксплуатационные свойства. Эти параметры указываются обычно в паспортах оборудования

Например, для одностоечного паро-воздушного ковочного молота такими параметрами будут: вес падающих частей, величина хода бабы, вылет от оси штока и др., для металлообрабатывающего станка — число оборотов или ходов в минуту, подачи, крутящие моменты и т. д.

В ряде случаев эксплуатационные возможности оборудования могут быть повышены сравнительно с паспортными данными; однако это повышение можно допускать только на основании тщательно выполненных поверочных расчетов на износ, вибрации, допускаемые напряжения и т. д.

Различают три метода нормирования: 1) опытно-статистический, 2) расчетно-аналитический и 3) суммарно-сравнительный.

При опытно-статистическом методе нормирования норма времени устанавливается суммарно, т. е. без расчета ее по элементам, на всю операцию на основании статистических данных о средних фактических затратах времени на выполнение аналогичных операций.

Такие нормы основываются на достигнутой в прошлом производительности труда, не учитывают имеющихся производственных возможностей, не отражают развития производственной техники и достижений передовых рабочих, не мобилизуют рабочих на достижение более высокой производительности труда. Поэтому следует избегать использования опытно-статистического метода нормирования для производственных целей.

При расчетно-аналитическом методе нормирования норма времени определяется путем расчета длительности элементов работы с установлением, в результате анализа, последовательности и содержания действий рабочего (исполнителя) и машины-орудия при наивыгоднейшем использовании ее эксплуатационных свойств.

При суммарно-сравнительном методе нормирования норма времени устанавливается суммарно на всю операцию путем сопоставления нормируемой операции с аналогичной операцией обработки вполне подобной, но других размеров заготовки, на которую имеется норма времени, установленная расчетно-аналитическим методом.

Этим методом нормирования можно пользоваться при проектировании цехов, когда можно ограничиться ориентировочными нормами времени.

Техническая норма времени и техническая норма выработки устанавливаются на каждую операцию. Характеризуя соответствие принятого построения операции заданной производственной программе, техническая норма времени и техническая норма выработки являются основными критериями оценки технологической операции.

Техническая норма штучного времени, полученная в результате расчета, учитывает не только оперативное время, но также время неизбежных перерывов в работе и время обслуживания рабочего места.

Оперативным временем называется время, затрачиваемое на работу, непосредственным результатом которой является выполнение заданной операции.

Оперативное время повторяется с каждой обрабатываемой заготовкой, с каждым собираемым узлом или изделием, а при многоместной обработке — в определенной последовательности через некоторое количество обрабатываемых заготовок, соответствующее станко-партии.

Временем перерывов называют регламентированное условиями работы время для периодического отдыха рабочего при тяжелых работах или время на естественные надобности рабочего, если по условиям работы отдыха не требуется.

Временем обслуживания рабочего места называется время, затрачиваемое рабочим на уход за рабочим местом в течение рабочей смены и поддержание его в рабочем состоянии. Сюда включается: 1) время организационного обслуживания $T_{орг}$, затрачиваемое на осмотр и опробование оборудования, раскладку и уборку инструмента в начале и в конце смены, смазку оборудования, очистку его от стружки; 2) время технического обслуживания $T_т$, затрачиваемое на смену инструмента, подналадку оборудования, заправку и регулировку инструмента.

Норма штучного времени ($T_ш$) определяется как сумма его элементов:

$$T_ш = T_{оп} + T_{пер} + T_{обсл} = T_{оп} + T_{пер} + T_{орг} + T_т \text{ мин.}, \quad (156)$$

где $T_{оп}$ — оперативное время на 1 шт. в мин.;
$T_{пер}$ — время перерывов работы, отнесенное к 1 шт. в мин;
$T_{обсл}$ — время обслуживания рабочего места, отнесенное к 1 шт. в мин.;

$$T_{обсл} = T_{орг} + T_т.$$

При расчете нормы штучного времени время перерывов и время организационного обслуживания рабочего места исчисляются по формулам

$$T_{пер} = \frac{t_{пер}}{100} T_{оп}, \quad (157)$$

$$T_{орг} = \frac{t_{орг}}{100} T_{оп}, \quad (158)$$

где $t_{пер}$ — время перерывов в процентах от оперативного времени;
$t_{орг}$ — время организационного обслуживания рабочего места в процентах от оперативного времени.

Таким образом, норма штучного времени может быть выражена формулой

$$T_ш = \left(1 + \frac{t_{пер}}{100} + \frac{t_{орг}}{100}\right) T_{оп} + T_т. \quad (159)$$

Оперативное время состоит из основного и вспомогательного времени.

Основное (технологическое) время является временем, в течение которого происходит изменение состояния продукта производства (его формы и размеров, структуры и свойств материала и т. п.), что и является целью данной технологической операции.

Вспомогательное время охватывает действия, обеспечивающие выполнение основной работы. Оно включает время на установку, закрепление и снятие обрабатываемой заготовки или собираемого узла, на управление механизмами оборудования, на промеры и т. п.

Вспомогательное время подразделяется на время, перекрываемое, и время, не перекрываемое основным машинным временем. В оперативное время не включаются затраты времени на те элементы вспомогательных действий и вообще ручной работы, которые могут быть выполнены во время автоматической работы оборудования; таким образом, в оперативное время включается лишь вспомогательное время, не перекрываемое основным машинным временем.

При обработке на автоматах вспомогательное время, являющееся машинным, часто называют временем холостых ходов, включая в него автоматический подвод и отвод суппортов, подвод режущего инструмента к обрабатываемой заготовке от момента автоматического включения его на рабочую подачу и т. п.; таким образом, считают для неавтоматизированных операций

$$T_{оп} = T_o + T_в, \tag{160}$$

и для автоматизированных операций

$$T_{оп} = T_o + T_х, \tag{161}$$

где T_o — основное (технологическое) время;

$T_в$ — вспомогательное время;

$T_х$ — время холостых ходов.

Холостые ходы осуществляются либо при тех же минутных подачах, как и основная работа, либо с ускоренными подачами. У некоторых автоматов вспомогательные действия и холостые ходы осуществляются с постоянными скоростями, независимо от режимных условий обработки.

При станочной обработке основное (технологическое) время на каждый переход или проход рабочего инструмента (t_o) определяется по формуле

$$t_o = \frac{L_p}{s_м} \text{ мин.}, \tag{162}$$

где L_p — расчетная длина обработки (путь инструмента или заготовки в направлении подачи) в *мм*;

$s_м$ — величина подачи (скорость подачи) в *мм/мин*.

Расчетная длина обработки складывается из длины обрабатываемой поверхности в направлении подачи, прибавки на подвод

инструмента к заготовке при включенной подаче, прибавки на врезание инструмента и прибавки на сход инструмента.

В некоторых случаях врезание и сход инструмента не имеют места, например, при цековании и цилиндрическом зенковании, при коническом зенковании, зенкеровании и развертывании конических отверстий. В этих случаях длину хода инструмента ограничивают обычно упором; при этом до отвода инструмента по окончании обработки он делает один-два холостых оборота (без подачи), как бы увеличивая этим длину рабочего хода.

Пользуясь исходной формулой основного времени, можно получить t_o для любого метода обработки, при любых конкретных условиях [1]. В частности, например, при обтачивании цилиндрической поверхности на проход

$$t_o = \frac{L_p}{s_м} = \frac{L_p}{ns},$$

где n — число оборотов заготовки в минуту;

s — подача в *мм/об*.

При определении основного машинно-ручного времени, расчетную величину ручных подач устанавливают на основании предварительно проведенных и затем систематизированных наблюдений, причем величина подачи задается в зависимости от производственных навыков рабочего.

При многопереходной операции основное (технологическое) время определяется как сумма основных времен последовательных переходов, составляющих операцию:

$$T_o = \sum_{i=1}^{m} t_{oi}, \qquad (163)$$

где m — число последовательно выполняемых переходов, составляющих операцию.

Нормирование ручного основного времени (слесарные и сборочные работы) производится по нормативам времени, учитывающим основные технологические факторы, влияющие на продолжительность работы. Нормативы времени устанавливаются на основе изучения рабочего времени наблюдением.

Вспомогательное машинно-ручное и ручное время подсчитываются по нормативам, учитывающим основные факторы, влияющие на продолжительность вспомогательных действий (вес заготовки, тип станка и приспособления и т. п.).

Время перерывов определяется в процентах от оперативного времени по нормативам, учитывающим условия выполнения работы.

При станочной обработке время перерывов принимается обычно в размере 2% оперативного времени. При сборочных работах на пере-

[1] Формулы основного времени см. [19], [89] и др.

рывы для отдыха и естественные надобности рабочих принимается до 7% оперативного времени для всех рабочих сборочной линии.

Время организационного обслуживания $T_{орг}$ определяется в процентах от оперативного времени по нормативам, составленным на основе систематизированных данных фотографии рабочего дня. Для станочных работ время организационного обслуживания принимается обычно 0,6—7,1% оперативного времени, в зависимости от типа и размера станка. При слесарных и сборочных работах оно составляет 2—8% оперативного времени, в зависимости от вида выполняемых работ.

Время технического обслуживания иногда определяют в процентах от основного времени, что, однако, может повести к значительным ошибкам в расчетах. Целесообразнее определять это время расчетом.

Время технического обслуживания T_m при станочной обработке может быть определено по формуле

$$T_m = \frac{t_n k_n + t_з k_з + T_и}{k_{заг}}, \qquad (164)$$

где t_n — время, затрачиваемое на каждую подналадку;

k_n — количество подналадок за время работы инструмента до его смены;

$t_з$ — время, затрачиваемое на каждую заправку инструмента;

$k_з$ — количество заправок за время работы инструмента до его смены;

$T_и$ — время, затрачиваемое на каждую смену затупившегося инструмента;

$k_{заг}$ — количество заготовок, обрабатываемых за время работы инструмента до его смены.

При высоких скоростях резания тепловой износ режущего инструмента наступает ранее его механического износа. В этом случае подналадка не имеет места, но заправка инструмента производится после каждой обработанной заготовки; таким образом,

$$T_m = \frac{T_и}{k_{заг}} + t_з.$$

При черновой обработке инструмент может работать до его смены без подналадки и без заправки; тогда

$$T_m = \frac{T_и}{k_{заг}}.$$

Время, затрачиваемое на подналадку, заправку и смену инструмента, определяется по нормативным данным. Количество заготовок, обрабатываемых инструментом до его смены, может быть определено по формуле

$$k_{заг} = \frac{T}{t_o}, \qquad (165)$$

где T — стойкость инструмента, т. е. продолжительность его работы до затупления, в мин.;

t_o — основное штучное время работы инструмента в мин.

Таким образом, получаем

$$T_m = \frac{T_u t_o}{T}, \tag{166}$$

что указывает на определенную взаимосвязь времени технического обслуживания с основным временем.

При некоторых станочных работах время технического обслуживания равно нулю или ничтожно мало; например, при калибровании шариком или оправкой, при протягивании и прошивании отверстий, когда оно затрачивается только на очистку инструмента от стружки, оставшейся между зубьями протяжки.

При слесарно-сборочных работах время технического обслуживания либо равно нулю (работа молотком, гаечным ключом), либо имеет некоторую величину; например при опиливании (чистка напильника щеткой), пришабривании (заправка шабера), клепке (смена бойка).

Норма выработки определяется как частное от деления единицы времени на норму штучного времени:

$$N_{час} = \frac{60}{T_ш}; \tag{167}$$

$$N_{см} = \frac{60T_{см}}{T_ш}, \tag{168}$$

где $N_{час}$ — норма выработки за 1 час;

$N_{см}$ — норма выработки за рабочую смену;

$T_{см}$ — продолжительность рабочей смены в час.;

$T_ш$ — норма штучного времени в мин.

Норма выработки характеризует производительность труда; определив нормы штучного времени для различных вариантов технологической операции, получаем возможность сопоставить их по производительности труда.

При обработке заготовок партиями производятся затраты подготовительно-заключительного времени $T_{пз}$, которое затрачивается рабочим на ознакомление с работой и чертежом, на подготовку и наладку оборудования, приспособлений и инструментов для обработки заданной партии заготовок или сборки заданной партии узлов, на снятие и сдачу оснастки (приспособлений, инструмента) после окончания работы по заданной партии и на сдачу выполненной работы. В крупносерийном производстве при периодически повторяющихся операциях, а также на переналаживаемых групповых автоматических станочных линиях подготовительно-заключительное время затрачивается главным образом на наладку оборудования.

Подготовительно-заключительное время зависит от оборудования, на котором выполняется работа, характера выполняемой работы, степени сложности наладки и не зависит от размера партии, а поэтому нормируется отдельно от штучного времени.

Таким образом, при выполнении работ партиями определяется норма времени на заданную партию ($T_{парт}$):

$$T_{парт} = T_{пз} + T_{ш} n_{п}, \qquad (169)$$

где $T_{пз}$ — норма подготовительно-заключительного времени независимо от размера партии;

$T_{ш}$ — норма штучного времени;

$n_{п}$ — число штук в партии.

Значения ряда величин, входящих в нормы штучного и партионного времени, определяются по нормативам, которые разрабатываются на основе изучения рабочего времени наблюдением. Нормативы времени, т. е. расчетные продолжительности элементов работы, разрабатываются на типовые элементы и предназначаются для расчета технических норм времени. Применение расчетно-аналитического метода нормирования возможно только при наличии нормативов времени.

Различают два основных способа изучения рабочего времени наблюдением: хронометраж и фотографию рабочего времени.

С помощью хронометража изучают затраты времени на выполнение циклически повторяющихся ручных и машинно-ручных элементов операции для установления их нормальной продолжительности и разработки на этой основе нормативов, используемых при расчете технических норм времени.

Фотографией рабочего времени называют наблюдения с последовательными замерами всех затрат рабочего времени в течение рабочего дня, в том числе и потерь времени.

Основным назначением фотографии рабочего времени является определение потерь рабочего времени, установление времени на обслуживание рабочего места, на отдых и другие перерывы.

При выборе вариантов технологических процессов весьма важно найти показатели объективной оценки сравниваемых вариантов, характеризующие их преимущества хотя бы в некоторой степени.

Такими показателями могут служить коэффициенты, характеризующие удельное значение отдельных слагаемых трудоемкости, коэффициенты использования материалов при изготовлении деталей и использования оборудования.

Остановимся на содержании и существе некоторых показателей и областях их применения.

Используя расчеты, произведенные для определения нормы штучного времени, можно установить соотношение между ее элементами, определив коэффициент основного времени $\eta_{о}$, как отношение основного времени $T_{о}$ к штучному времени $T_{ш}$.

Этот коэффициент характеризует удельное значение основного (технологического) времени в общем (штучном) времени выполнения операции. Высокий коэффициент основного времени характеризует рациональное построение операции. Однако сопоставлять различные варианты технологической операции можно лишь при оптимальных режимах резания у сравниваемых вариантов, так как занижение режима резания увеличивает основное время и, следовательно, повышает коэффициент основного времени. Низкий коэффициент основного времени характеризует значительные затраты времени на вспомогательные приемы (установка и снятие заготовок и т. п.), на подналадку и смену инструмента[1].

Величина коэффициента основного времени колеблется в широких пределах; он может служить сравнительной характеристикой целесообразности построения лишь вполне аналогичных операций, отличающихся только последовательностью выполнения переходов, конструкцией приспособлений и т. п. Для оценки различных методов он неприменим. Например, протягивание является высокопроизводительным методом обработки, а коэффициент основного времени при протягивании значительно ниже, чем, например, при развертывании; это объясняется малой величиной основного времени при протягивании вследствие значительного сокращения пути инструмента в направлении подачи, обусловливаемого самим методом обработки. Операции, в которых применены различные методы обработки, следует сопоставлять по их производительности.

При обработке с высокими скоростями резания или с увеличенными подачами основное время уменьшается и, следовательно, снижается коэффициент основного времени. Это обстоятельство не может, конечно, служить основанием для отказа от работы с высокими скоростями резания или с увеличенными подачами; оно указывает лишь на настоятельную необходимость параллельно с повышением режимов резания сокращать затраты времени на вспомогательные приемы, подналадку и смену инструмента путем осуществления соответствующих мероприятий[2].

Коэффициент основного времени процесса обработки заготовки в целом $\eta_{o\,заг}$ определяется как среднее значение коэффициентов основного времени совокупности операций, входящих в технологический процесс:

$$\eta_{o\,заг} = \frac{1}{m}\sum_{i=1}^{m} \eta_{o_i} \qquad (170)$$

где m — число операций технологического процесса обработки заготовки.

---

[1] В приложении 6 приведены значения коэффициента основного времени при обработке на металлорежущих станках.

[2] См. главу VIII, § 1 «Пути повышения производительности труда».

В некоторой степени характеризует сравниваемые варианты технологических процессов в серийном производстве коэффициент подготовительно-заключительного времени:

$$\eta_{пз} = \frac{T_{пз}}{T_{ш} n_{п}}, \qquad (171)$$

где $n_{п}$ — число заготовок в партии.

Этот коэффициент зависит от размера партии и находится в пределах 0,04 — 0,25, в зависимости от серийности производства [50]; при этом чем крупнее серия, тем меньшее значение имеет $\eta_{пз}$. Этим коэффициентом можно пользоваться при оценке аналогичных операций.

Коэффициент использования материала γ определяется отношением веса готовой детали g к весу заготовки G:

$$\gamma = \frac{g}{G}. \qquad (172)$$

Этот коэффициент характеризует процесс производства детали в целом, включая и выбор метода выполнения заготовки. Он может быть определен как относительно веса заготовки, поступившей из заготовительного цеха на механическую обработку, так и относительно веса исходной заготовки. Им можно пользоваться для решения вопроса о целесообразности замены цельной детали сварной конструкцией или сборного узла деталью с точки зрения экономии металла, так как не всегда относительно меньший вес деталей или узлов соответствует меньшей затрате на них исходных материалов.

Приведем некоторые практические данные о коэффициентах использования материала (металла) [30]. При чугунном литье в земляные формы машинной формовки по металлическим моделям: для корпусных деталей $\gamma = 0{,}8 \div 0{,}9$; для втулок и гильз $\gamma = 0{,}5 \div 0{,}6$; для небольших шкивов и маховиков $\gamma = 0{,}7 \div 0{,}9$. При штамповке стальных заготовок на молотах: для рычагов и вилок $\gamma = 0{,}80 \div 0{,}95$; для валов ступенчатых и с фланцами $\gamma = 0{,}70 \div 0{,}85$; для зубчатых колес с обрабатываемым зубом $\gamma = 0{,}35 \div 0{,}55$; для валиков гладких с центральными отверстиями $\gamma = 0{,}35 \div 0{,}55$.

В условиях поточного производства показателем, характеризующим разработанный технологический процесс, являются так называемые технологически неизбежные простои оборудования поточной линии, появляющиеся вследствие отклонения действительных штучных времен станочных или сборочных операций от темпа потока. Этот показатель связан с коэффициентом загрузки оборудования.

Расчетное количество рабочих мест или станков в потоке ($m_{р}$), необходимых для выполнения технологической операции в объеме

заданной программы, определяется отношением штучного времени к темпу:

$$m_p = \frac{T_ш}{t}, \tag{173}$$

где $T_ш$ — штучное время на выполнение операции;
t — темп работы.

Округляя расчетное значение m_p до ближайшего большего целого числа $m_п$, находим принятое число станков. Отношением расчетного к принятому числу станков определяется коэффициент их загрузки $\eta_в$

$$\eta_в = \frac{m_p}{m_п}. \tag{174}$$

Подставляя в формулу (173) значение темпа по формуле (1), получаем

$$m_p = \frac{T_ш}{t} = \frac{T_ш N}{F}$$

и, следовательно,

$$\eta_з = \frac{m_p}{m_п} = \frac{T_ш N}{F m_п},$$

где F — годовой фонд работы оборудования в мин.;
N — заданный годовой выпуск в шт.

Коэффициент загрузки поточной линии определяется, как среднее значение коэффициентов загрузки отдельных рабочих мест потока:

$$\eta_{з\,л} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^{m} \eta_з, \tag{175}$$

где m — число станков линии.

По практическим данным, коэффициент загрузки поточной линии колеблется обычно в пределах 0,65—0,8.

Пользуясь формулами (174) и (173), получаем

$$T_ш = t m_п \eta_з.$$

При полной загрузке рабочих мест, т. е. при $\eta_з = 1$, $T_ш = t m_п$, следовательно, технологически неизбежный простой $T_{нп}$ определяется разностью

$$T_{нп} = t m_п - t m_п \eta_з = t m_п (1 - \eta_з). \tag{176}$$

Например, при темпе $t = 2{,}95$ мин., двух рабочих местах и $\eta_з = 0{,}8$, получим

$$T_{нп} = 2{,}95 \cdot 2 (1 - 0{,}8) = 1{,}18 \text{ мин.}$$

В условиях серийного производства, когда на станке выполняется не одна, а несколько закрепленных за ним операций, коэффициент

загрузки определяется с учетом всех операций, выполняемых на станке, и поэтому не может служить критерием для оценки анализируемой операции.

Общий коэффициент загрузки станков в серийном производстве $\eta_з$ находится в пределах 0,70—0,85; однако он не определяется при сравнительном анализе технологических процессов, и им пользуются как показателем при проектировании цехов серийного производства.

Выбор варианта обработки заготовок на станках в серийном производстве связан не только с сопоставлением их по штучному времени, но и с учетом времени, затрачиваемого на переналадку станков при обработке нескольких партий заготовок. Таким образом, выгодность варианта по производительности определяется в результате сравнения партионных времен.

Проверим целесообразность построения технологической операции по принципу индивидуального или автоматического получения размеров. Способ автоматического получения размеров оправдывается с точки зрения трудоемкости при условии:

$$T'_{пз} + T'_{ш} n > T''_{пз} + T''_{ш} n,$$

где $T'_{пз}$ — подготовительно-заключительное время и

$T'_{ш}$ — норма штучного времени—при обработке способом индивидуального получения размеров (пробными проходами и промерами);

$T''_{пз}$ — подготовительно-заключительное время и

$T''_{ш}$ — норма штучного времени—при обработке способом автоматического получения размеров (на предварительно настроенном станке);

n — число заготовок в партии.

Из этого условия имеем

$$T_{ш} n - T''_{ш} n > T_{пз} - T'_{пз},$$

откуда

$$n > \frac{T''_{пз} - T'_{пз}}{T'_{ш} - T''_{ш}}$$

При размере партии меньше n применение способа автоматического получения размеров не оправдывается с точки зрения трудоемкости. При числе заготовок в партии n сравниваемые варианты равноценны по суммарной затрате партионного времени.

На фиг. 240 по оси абсцисс отложены размеры партии n, а по оси ординат — время, затрачиваемое на обработку партии $T_{парт}$ и его элементы $T_{пз}$ и $T_{ш}\, n$; при размере партии $n_р$ оба варианта будут равноценны, т. е. $T'_{парт}$ будет равно $T''_{парт}$; в этом случае

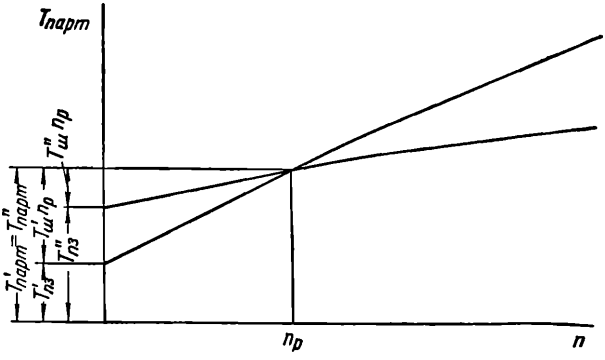
$$T'_{ш} n_р - T''_{ш} n_р = T''_{пз} - T'_{пз},$$

откуда

$$n_p = \frac{T''_{пэ} - T'_{пэ}}{T'_ш - T''_ш}. \qquad (177)$$

При партии меньшей n_p предпочтение отдается первому варианту, при партии большей n_p выгоднее второй вариант.

Широко пользуются для сопоставления различных вариантов технологического процесса и для сравнения с процессами изготовле-



Фиг. 240. К определению размера равноценной партии n_p для сопоставляемых вариантов.

ния подобных деталей при аналогичных условиях производства трудоемкостью процессов механической обработки.

Трудоемкость технологического процесса ($T_д$) механической обработки при производстве деталей определяется как сумма штучных времен по всем операциям:

$$T_д = \sum_{i=1}^{m} T_{ш i}, \qquad (178)$$

где m — число операций, составляющих технологический процесс; $T_{ш i}$ — нормы времени по каждой операции.

Трудоемкость $T_д$ является основным показателем, характеризующим процесс по затрате живого труда, но не дает оценки сопоставляемых вариантов по затратам труда, овеществленного в материалах и средствах производства.

Показателем, характеризующим технологические процессы по суммарным затратам живого и овеществленного труда, является себестоимость детали.

Себестоимость слагается из стоимости материала детали, заработной платы производственных рабочих, непосредственно занятых изготовлением детали, и накладных расходов, связанных с общей организацией производства.

Различают цеховую себестоимость, учитывающую только цеховые накладные расходы и заводскую себестоимость, учитывающую также и общезаводские расходы.

Цеховые расходы включают: социальное страхование, отпуска и другие начисления на заработную плату производственных рабочих; заработную плату рабочих, обслуживающих оборудование (дежурные слесари, электромонтеры, смазчики и т. п.); затраты на технологическую энергию (силовую электроэнергию, сжатый воздух, топливо и воду для производственных целей); затраты на смазочные и обтирочные материалы; отчисления на амортизацию производственного оборудования и оснастки; затраты на текущий ремонт производственного оборудования и оснастки; затраты на инструмент; заработную плату цехового персонала (ИТР, СКП, МОП); заработную плату вспомогательных рабочих, занятых на общепроизводственных и хозяйственных работах; содержание внутрицехового транспорта; содержание цеха (отопление, осветительная электроэнергия, вода для бытовых нужд); отчисления на амортизацию здания и сооружений цеха; затраты на текущий ремонт зданий и сооружений цеха; расходы по охране труда; расходы по исследованиям и анализам; расходы по рационализаторским мероприятиям и другие.

Общезаводские расходы включают: заработную плату заводоуправления, начисления на заработную плату, затраты на командировки, содержание транспорта, потери от брака в производстве, расходы по организации производства новых видов изделий, налог с оборота и другие непроизводственные расходы.

Для сравнительного анализа вариантов технологического процесса можно пользоваться цеховой себестоимостью детали ($C_д$), которая определяется по формуле

$$C_д = M + P + Ц, \qquad (179)$$

где M — стоимость материала или заготовки за вычетом возвратной суммы за сдачу отходов;

P — заработная плата производственных рабочих, занятых на производстве данной детали;

$Ц$ — сумма цеховых расходов, начисляемых на изготовляемую деталь.

При изготовлении детали непосредственно из проката стоимость материала определяется весом проката, расходуемого на изготовление детали, умноженным на цену проката.

При изготовлении детали из заготовки (поковки, отливки), выполненной в заготовительном цехе, за стоимость материала следует принимать отпускную себестоимость заготовки $C_з$, которая определяется по аналогичной формуле

$$C_з = M_з + P_з + Ц_з,$$

где $M_з$ — затраты на исходный материал, расходуемый на изготовление заготовки;

$P_в$ — заработная плата производственных рабочих по заготовительному цеху;

$Ц_з$ — цеховые расходы по заготовительному цеху, начисляемые на каждую заготовку.

Приняв за M себестоимость заготовки, остальные слагаемые себестоимости детали определяют только применительно к механической обработке.

При выполнении операций процесса механической обработки детали имеем разное штучное время $T_ш$ и разную заработную плату в единицу времени L в зависимости от квалификации выполняемой работы; поэтому заработная плата в себестоимости детали P определяется как сумма заработных плат по операциям:

$$P = \sum_{i=1}^{m} T_{ш i} L,$$

где m — число операций процесса механической обработки.

Значительно сложнее определение цеховых расходов, отнесенных к изготовляемой детали. Относительно наиболее простым является метод начисления цеховых расходов пропорционально производственной заработной плате; при этом цеховые расходы (Q) определяются в процентах по формуле

$$Q = \frac{Ц_г}{P_г} \cdot 100\%,$$

где $Ц_г$ — сумма годовых цеховых расходов;

$P_г$ — годовой фонд производственной заработной платы по цеху.

Например, при годовом фонде заработной платы 1,2 млн. руб. цеховые расходы в год составляют 3 млн. руб.;
тогда

$$Q = \frac{3\,000\,000}{1\,200\,000} \cdot 100 = 250\%,$$

т. е. на 1 руб. производственной заработной платы начисляют 2,5 руб. цеховых расходов.

В этом случае получаем

$$C_д = M + P + Ц = M + P + \frac{P \cdot Q}{100}$$

или

$$C_д = M + P\left(1 + \frac{Q}{100}\right). \qquad (180)$$

Однако этот метод начисления цеховых расходов может привести к неправильным выводам при экономическом анализе сопоставляемых вариантов технологического процесса, так как при этом методе не может быть установлена действительная доля цеховых расходов, падающая на деталь при различных вариантах обработки заготовки.

Допустим, например, что при обработке заготовки из проката на токарно-винторезном станке заработная плата составит 90 коп. за штуку, а при обработке той же заготовки на токарном автомате 22 коп. за штуку; при 250% цеховых расходов последние составят в первом случае 2 р. 25 к., а во втором случае — 55 коп., тогда как при обработке на токарном автомате по ряду статей цеховые расходы будут выше чем при обработке на токарно-винторезном станке, в частности по амортизации и текущему ремонту автомата.

Решение этого вопроса пытались найти путем калькуляций по методу машино-часа, заключавшегося в том, что для каждого станка или для группы однородных станков определялась сумма цеховых расходов, приходящихся на час работы станка; при этом стремились отнести к данному станку именно ту часть цеховых расходов и в том размере, которые обусловливаются его работой, независимо от заработной платы рабочего. В связи со сложностью определения стоимости машино-часа, требующего глубокого и всестороннего анализа работы цеха за длительный период времени, этот метод не получил широкого применения.

Обычно при сопоставлении вариантов технологических процессов можно ограничиваться более или менее приближенной калькуляцией, составленной по методу локализации цеховых расходов, т. е. когда цеховые расходы связываются с определенными рабочими местами или станками, на которых осуществляются сопоставляемые варианты, а распределение цеховых расходов уточняется применительно к этим именно станкам. При этом подвергаются локализации только те статьи цеховых расходов, которые могут существенно отклоняться при различных вариантах технологического процесса, а остальные статьи принимаются, с некоторым, конечно, допущением, одинаково влияющими на себестоимость при любом из вариантов технологического процесса.

Принимая метод локализации, определяем цеховые расходы для каждой операции технологического процесса:

$$Ц = А_с + Ц_с + Эл + Пр + Ин + Ц_{пр},$$

где $Ц$ — сумма цеховых расходов, связанных с выполнением операции;

$А_с$ — амортизация станка, на котором выполняется операция;

$Ц_с$ — затраты по текущему ремонту станка, отнесенные к выполняемой операции;

$Эл$ — затраты на силовую электроэнергию, отнесенные к операции;

$Пр$ — расходы, связанные с применяемым приспособлением;

$Ин$ — расходы на инструмент по выполняемой операции;

$Ц_{пр}$ — прочие цеховые расходы, не зависящие от варианта обработки.

Средние нормы амортизации оборудования устанавливаются для каждой отрасли промышленности правительственным постанов-

лением. Для станочного оборудования машиностроительных заводов можно принять 10% годовых амортизационных отчислений от первоначальной суммы затрат на приобретение станка с учетом расходов по упаковке, транспортировке и монтажу станка, которые принимаются в размере 10—15% от отпускной цены станка. Балансовая сумма затрат на станок обычно учитывает эти расходы.

В условиях поточно-массового производства, когда на станке выполняется только одна закрепленная за ним операция, амортизационные отчисления, отнесенные к выполняемой операции, определяются по формуле

$$A_c = \frac{0{,}1S_c 100}{N} = \frac{10S_c}{N} \text{ коп.},$$

где S_c — первоначальная сумма затрат на станок (с учетом 10—15% на упаковку, транспортировку и монтаж) в руб.;

N — годовой выпуск деталей, изготовляемых на станке.

В условиях серийного и единичного производства, когда на станке выполняется несколько операций,

$$A_c = \frac{0{,}1S_c \cdot 100 \cdot T_ш}{60 \cdot F\eta_э} = \frac{S_c}{6F\eta_э} \cdot T_ш \text{ коп.},$$

где F — действительный годовой фонд времени работы оборудования в час.;

$\eta_э$ — коэффициент загрузки станка;

$T_ш$ — норма штучного времени в мин.

Годовые расходы по текущему ремонту, осмотрам и проверке станка в зависимости от группы ремонтной сложности можно определить, пользуясь нормативами планово-предупредительного ремонта; тогда для поточно-массового производства имеем

$$Ц_c = \frac{Г_э}{N} \text{ руб.},$$

где $Г_э$ — годовые затраты по ремонту, осмотрам и проверке станка;

N — годовой выпуск деталей, а для серийного и единичного производства

$$Ц_c = \frac{Г_э}{60F\eta_э} T_ш \text{ руб.}$$

Затраты на силовую электроэнергию, отнесенные к операции, составляют

$$Эл = \frac{N_у K_э C_{эл}}{60} \cdot T_o \text{ коп.},$$

где $N_у$ — установленная мощность двигателей станка в *квт*;

$K_э$ — коэффициент загрузки электродвигателей станка;

($K_э = 0{,}5 \div 0{,}9$ в зависимости от режимов резания);

$C_{эл}$ — затраты на 1 *квт-ч* электроэнергии на щитах цеховой подстанции в коп. ($C_{эл} = 20$ коп.);

T_0 — основное (технологическое) время в мин.

При $K_э = 0{,}75$ получаем $Эл = 0{,}25 N_y T_0$.

Расходы, связанные с применением специальных приспособлений, определяют из тех соображений, что срок амортизации приспособления следует считать 2—4 года в связи с возможными конструктивными изменениями обрабатываемой детали. Годовые расходы по ремонту приспособлений составляют примерно 10—25% их стоимости; таким образом, при двухгодичном сроке амортизации, принимая годовые расходы по ремонту 17,5%, получаем

$$Пр_2 = \frac{0{,}5C_{пр} + 0{,}175C_{пр}}{N} \approx \frac{0{,}68C_{пр}}{N},$$

где $C_{пр}$ — стоимость изготовления приспособления;

N — годовой выпуск деталей.

При трех- и четырехгодичных сроках амортизации соответственно получим

$$Пр_3 = \frac{0{,}51C_{пр}}{N}$$

и

$$Пр_4 = \frac{0{,}43C_{пр}}{N}.$$

В серийном производстве затраты на ежегодный ремонт приспособлений можно принять 10% от их стоимости и, следовательно,

$$Пр_2 = \frac{0{,}6C_{пр}}{N}; \quad Пр_3 = \frac{0{,}43C_{пр}}{N}; \quad Пр_4 = \frac{0{,}35C_{пр}}{N}.$$

Наиболее надежные данные по стоимости изготовления приспособлений можно получить в инструментальном цехе, имеющем обычно достаточный в этом отношении опыт. Имеются также ценники приспособлений различных типов.

Расходы на инструмент по выполняемой операции определяются на основе следующих соображений. Расходы, связанные с каждой заточкой инструмента W_c, можно определить по формуле

$$W_c = t_w l_w \left(1 + \frac{Z_w}{100}\right) + \frac{S_w h}{H},$$

где t_w — норма времени на заточку инструмента в мин.;

l_w — заработная плата в минуту на заточке инструмента;

Z_w — цеховые расходы по заточному отделению в процентах;

h — величина стачивания инструмента при каждой его заточке в *мм*;

H — полная величина стачивания, допускаемая инструментом, в *мм*;

$S_ш$ — стоимость инструмента.

Если разделить расходы, связанные с каждой заточкой инструмента, на количество заготовок, обрабатываемых инструментом на данной операции от одной заточки до другой, которое обозначим K_c, то получим затраты на инструмент по выполняемой операции, отнесенные на обрабатываемую заготовку:

$$Ин = \frac{Ш_c}{K_c}.$$

Учитывая, что

$$K_c = \frac{T}{T_o},$$

где T — стойкость инструмента в минутах, имеем

$$Ин = \frac{t_ш l_ш \left(1 + \frac{Z_ш}{100}\right) + \frac{S_ш h}{H}}{T} \cdot T_o.$$

При многоинструментальной обработке $Ин$ определяется для каждого инструмента и в формулу себестоимости вводится

$$\sum_{i=1}^{m} = Ин,$$

где m — число инструментов.

Прочие цеховые расходы, не зависящие от варианта обработки,

$$Ц_{пр} = \frac{Z_o - Z_{ап} - Z_{цп} - Z_{эл} - Z_{ин}}{100} \cdot p,$$

где Z_o — общий процент цеховых расходов к основной заработной плате производственных рабочих;

$Z_{ап}$ — процент статьи цеховых расходов «Амортизация производственного оборудования и оснастки»;

$Z_{цп}$ — то же по статье «Ремонт и содержание оборудования и оснастки»;

$Z_{эл}$ — то же по статье «Производственная энергия»;

$Z_{ин}$ — то же по статье «Стоимость инструмента»;

p — заработная плата производственного рабочего (сдельная расценка).

Данные о процентах по статьям цеховых расходов можно получить в бухгалтерии цеха.

В ряде случаев ограничиваются технико-экономическим анализом вариантов технологических процессов механической обработки [107] или оценкой рентабельности технологического процесса механической обработки [108]. В этих случаях заготовка для сравниваемых

вариантов принимается неизменной. При анализе комплексных технологических процессов производства деталей машин сопоставление вариантов технологического процесса должно производиться не по себестоимости механической обработки, а по себестоимости деталей, с учетом стоимости черной заготовки. При этом должно быть принято во внимание то обстоятельство, что взаимосвязь методов выполнения заготовок с последующей их обработкой вносит в ряде случаев коренные изменения в технологию механической обработки заготовок, выполненных различными методами; особенно необходимо учитывать это при внедрении точных методов литья, штамповки, прессования, волочения и др.

Само собой разумеется, что при замене монолитных деталей сварными конструкциями должен производиться комплексный технико-экономический сравнительный анализ. При этом определяется себестоимость всех деталей, входящих в сварную конструкцию, себестоимость сварки и себестоимость обработки сварной конструкции, если она предусмотрена. Аналогично, пользуясь теми же формулами, определяют себестоимость выполнения сборочной операции, за исключением, разумеется, формул, определяющих расходы, связанные с заточкой режущего инструмента.

Сопоставляя себестоимости выполнения сборочных операций при различных вариантах их построения, имеем возможность выбрать наиболее рентабельный из них. Суммируя себестоимости выполнения отдельных операций, получаем общую себестоимость сборки узла или изделия $C_ш$.

Себестоимость детали или узла является основным критерием, позволяющим в совокупности с другими технико-экономическими показателями сделать выбор оптимального варианта технологического процесса, обусловливающего рентабельность производства.

В. И. Ленин подчеркивал необходимость добиться безубыточности и прибыльности каждого госпредприятия.

При социализме часть ценностей, созданных трудом работников социалистического производства для общества, представляет собой чистый доход государственного предприятия. Поэтому в росте рентабельности заинтересованы сами работники социалистического производства. Рост рентабельности в социалистическом обществе — важное условие повышения темпов расширенного воспроизводства, неуклонного подъема уровня материального и культурного благосостояния народа.

Если рентабельность рассматривать только с позиций данного предприятия, то многие новые технологические процессы, осуществляемые на вновь создаваемом оборудовании, не будут признаны рентабельными и не будут осуществлены, так как изготовление этого нового оборудования в единичном порядке связано с большими затратами, которые в условиях отдельного предприятия не оправдываются, быть может, даже в длительные сроки. Однако широкое применение нового метода и серийное производство нового технологи-

ческого оборудования могут создать условия для рентабельного его использования даже в условиях сравнительно небольшого выпуска.

При проектировании технологических процессов производства технико-экономический сравнительный анализ вариантов технологического процесса производится с целью выбора оптимального варианта, обусловливающего для заданных производственных условий наименьшую трудоемкость процессов производства при наименьшей затрате материалов и при наименьшей себестоимости продукции.

Совершенствование процессов производства, повышение их технологического уровня осуществляется на базе технико-экономического анализа, который вскрывает производственные недочеты и определяет показатели, характеризующие рост производства. При этом целесообразно подвергать анализу не только технологию производства, которая может быть непосредственно осуществлена на данном предприятии, но и так называемую перспективную технологию, для осуществления которой необходимы новые оборудование и оснастка, требующие длительных сроков изготовления. На базе такого анализа создаются перспективные планы развития предприятий.

Таковы цели и задачи технико-экономического анализа процессов производства.

В заключение отметим, что процессы производства характеризуются системой технико-экономических показателей. Такими показателями, кроме рассмотренных нами, являются: годовой выпуск продукции в рублях на одного производственного рабочего, на единицу производственного оборудования, на 1 $м^2$ производственной площади; годовой выпуск в количестве изделий (при однородной продукции) или в тоннах на одного производственного рабочего, на 1 $м^2$ производственной площади в одну смену, на единицу производственного оборудования и др. [103]. Системой технико-экономических показателей пользуются для оценки запроектированных цехов, так как они характеризуют запроектированное производство в объеме цеха в целом [1].

[1] Система технико-экономических показателей рассматривается в курсе „Основы проектирования машиностроительных заводов".

ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА ТИПОВЫХ ДЕТАЛЕЙ И УЗЛОВ МАШИН

§ 1. ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА ТИПОВЫХ ДЕТАЛЕЙ МАШИН

Понятие о типовых деталях машин.

Технология производства валов, втулок, зубчатых колес, рычагов, корпусов; основные конструктивные разновидности этих деталей машин; технические условия на их изготовление; применяемые материалы; виды заготовок; специфические технологические задачи, возникающие при производстве этих деталей; базирование заготовок при их обработке; погрешности установки и пространственные отклонения, их влияние на выдерживаемый размер и припуски на обработку; технология механической обработки и применяемое оборудование; технический контроль деталей.

А. Общие сведения

Большое значение во внедрении прогрессивных технологических методов производства имеет типизация технологических процессов.

Под типизацией технологических процессов понимают такое направление в изучении и построении технологии, которое заключается в классификации технологических процессов деталей машин и их элементов и затем в комплексном решении задач, возникающих при осуществлении процессов каждой классификационной группы [93].

Типизация технологических процессов связана с технологической классификацией деталей машин, т. е. с распределением на основе однородных технологических процессов всего многообразия машиностроительных деталей по классам.

Классом называют совокупность деталей, характеризуемых общностью технологических задач, решаемых в условиях определенной конфигурации этих деталей [93].

В пределах одного класса детали распределяют по группам, подгруппам и т. д., доводя это распределение до типа деталей, причем детали одного типа должны иметь принципиально общий технологический процесс.

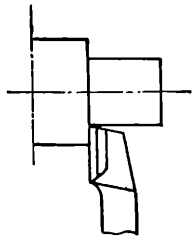
Классификации деталей машин должны разрабатываться по отраслям машиностроения соответственно применяемым в них деталям и специфике их производства. Однако несмотря на все многообразие

деталей машин, есть классы деталей, общие для различных отраслей машиностроения; это так называемые типовые детали машин.

Излагаемая тема курса посвящается изучению общих вопросов технологии производства типовых деталей машиностроения. Технология производства типовых деталей машин является базой для изучения отраслевой технологии, а также для проектирования технологических процессов и конструирования деталей машин в соответствии с технологическими требованиями производства [1].

Б. Технология производства валов

Основными конструктивными разновидностями деталей класса валов являются валы: гладкие, с уступами, с фланцами, с буртами, с односторонним расположением ступеней, с двусторонним расположением ступеней, сплошные и полые с центральным, гладким или ступенчатым отверстием. Шейки ступенчатых валов могут иметь шпоночные пазы, шлицы или резьбу. При переходе от одной ступени к другой предусматриваются канавки, иногда галтели; в тех случаях, когда галтели или канавки не предусмотрены, обтачивание ступени целесообразно производить резцами, обеспечивающими подрезку ступени большого диаметра (фиг. 241); стойкость таких резцов примерно вдвое меньше стойкости обычных проходных резцов при одинаковых условиях обработки, но радиальная составляющая силы резания значительно уменьшается, что обусловливает широкое применение этих резцов, особенно при обработке нежестких заготовок. Обработка галтели требует более сложного в изготовлении резца; поэтому во всех случаях, когда это допустимо, при переходе от одной ступени к другой следует предусматривать канавки. Торцы вала целесообразно снабжать фасками. Валы, длина которых не превышает 12-кратной величины диаметра ($L \leqslant 12D$), считают жесткими; при $L > 12D$ валы относят к нежестким деталям, и обработка их производится с люнетами или однорезцовым обтачиванием с подрезкой ступени (фиг. 241).



Фиг. 241. Обработка ступени вала, не имеющей галтели или канавки.

Технические условия изготовления деталей класса валов характеризуются следующими данными. Диаметральные размеры шлифованных посадочных шеек выдерживаются по 2 или 3-му классу, а в отдельных случаях — по 1-му классу точности.

---

[1] Технология производства деталей машин, свойственных определенным отраслям машиностроения, должна рассматриваться в специальных курсах технологии производства машин. Например, технология производства коленчатых валов, поршней, поршневых колец — в технологии производства поршневых машин; рабочих колес и лопаток — в технологии производства лопаточных машин и т. д.

Овальность и конусность цилиндрических гладких валов и цилиндрических шеек ступенчатых валов должны находиться в пределах допусков на диаметральные размеры. Биение посадочных шеек относительно базирующих (удвоенный эксцентрицитет) не должно превышать значений, лежащих в интервале 10—30 *мк*. Отклонения от параллельности шпоночных канавок или шлицев оси вала не должны превышать 0,1 *мк/мм* (0,1 *мк* на 1 *мм* длины); допуски на длину ступеней 50—200 *мк*; чистота поверхности посадочных шеек по 7—10-му классу ГОСТа 2789-51.

Материалом для деталей класса валов служит сталь — углеродистая, марганцовистая, хромистая, хромоникелевая, хромоникелемолибденовая (для тяжелонагруженных валов) и другая конструкционная сталь.

Для этого класса деталей (валки прокатные, шпиндели металлообрабатывающих станков) применяют также высокопрочный чугун.

Заготовки для деталей класса валов при обработке способом автоматического получения размеров выполняются штамповкой. Для гладких валов применяют преимущественно калиброванную сталь; для ступенчатых валов с небольшим перепадом диаметров применяют горячекатаную сталь; заготовки из высокопрочного чугуна получают обычно центробежной отливкой.

Применением литых заготовок для деталей класса валов достигают значительного уменьшения припусков на обработку и сокращения трудоемкости процесса механической обработки.

Специфические технологические задачи, возникающие при производстве валов, характеризуются следующим образом. В связи с тем, что кривизна проката и поковок достигает в ряде случаев 5 *мк/мм* (5 *мк* на 1 *мм* длины вала), возникает необходимость в правке заготовок для валов в целях уменьшения припусков на механическую обработку; правкой уменьшают кривизну до 1—2 *мк/мм*. Отклонение от соосности шеек черных заготовок ступенчатых валов должно находиться в пределах 1/4 поля допуска на диаметральный размер большей шейки. Погрешности черной заготовки закономерно уменьшаются при каждом технологическом переходе механической обработки; поэтому число технологических переходов для обработки каждой элементарной поверхности определяется пространственными отклонениями черной заготовки и требованиями, предъявляемыми к готовой детали.

Конечным технологическим переходом будет, очевидно, тот, при котором наряду с допуском по размеру погрешность формы и пространственные отклонения не выйдут из пределов, допускаемых техническими условиями.

Чтобы избежать биения посадочных шеек относительно базирующих, надо решить задачу обработки их с одного установа заготовки. Для полых валов должна быть обеспечена концентричность наружных поверхностей относительно центрального отверстия; поэтому по край-

ней мере чистовая обработка наружных поверхностей должна производиться с базированием по обработанному отверстию.

В целях обеспечения возможной параллельности шпоночных пазов или шлицев оси вала, обработка их должна производиться с установкой на центры; обработка с установной в призмах может быть принята при условии точной обработки базирующих шеек относительно оси центровых гнезд.

Задача выдерживания жестких допусков по длине ступеней при способе автоматического получения размеров решается параллельной подрезкой торцов на предварительно настроенном станке и установкой заготовки на плавающий передний центр, если задан жесткий допуск для первой ступени.

Базирование заготовок при обработке на станках. При любом способе установки вала для обработки наружных поверхностей вращения — центровыми гнездами на центрах, центральным отверстием на грибковых центрах, по наружной поверхности в патроне или в цанге — базирующим элементом является ось вращения заготовки. Этот же элемент является базирующим при обработке на шлицефрезерных и резьбофрезерных станках. При обработке шпоночных пазов, при предварительной обработке торцов черной заготовки и при зацентровке заготовки за базу принимаются наружные поверхности вращения, которыми заготовка устанавливается в призмы и ориентируется в осевом направлении одним из концов или торцом одной из ступеней.

Погрешности установки и пространственные отклонения. При установке центровыми гнездами на центры погрешность установки при обработке поверхностей вращения отсутствует, так как в этом случае налицо совмещение установочной и измерительной баз, которыми является ось вращения. Следовательно, допуск по выдерживаемому размеру определяется по формуле (73).

Однако при зацентровке заготовки имеем погрешность от смещения осей центровых гнезд с геометрической оси заготовки, определяемую по формуле (142). Суммирование погрешности зацентровки с другими пространственными отклонениями производится по правилу квадратного корня.

Суммарное значение пространственных отклонений должно быть учтено при определении припусков на обработку наружных поверхностей вращения, расчет которых производится по формуле (138) с исключением погрешности установки:

$$2z_{b_{\min}} = 2\left[(H_a + T_a) + \rho_a\right].$$

При обработке на жестких центрах погрешность установки в осевом направлении (по длине ступеней) определяется по формуле (7). При обработке на предварительно настроенных станках просадка центров влияет как на допуск выдерживаемого размера для ступени, координированной от измерительной базы, так и на величину припуска на обработку по длине ступени; в этом случае для определения

допуска на размер пользуемся формулой (71), а для определения припуска на обработку по длине ступени — формулой (136).

Для остальных ступеней при параллельной их обработке просадка центров на выдерживаемые размеры по длине ступеней не влияет, и допуски на эти размеры определяются по формуле (137). Однако при расчете припусков на параллельную подрезку ступеней просадку центров необходимо учитывать и определять припуск по формуле (137).

При установке на плавающий передний центр просадка центров не влияет на выдерживаемые размеры по длине ступеней и на допуск для ступени, координированной от базового торца, находящегося у передней бабки, и допуск определяется по формуле (72); если измерительной базой для обрабатываемой ступени является не торец, а другой элемент заготовки, то погрешность установки определяется допуском по размеру, связывающему торец с измерительной базой, и допуск на размер по длине ступени определяется по формуле (71), т. е. с учетом погрешности установки.

Базирование по центральному отверстию с установкой на грибковые центры принципиально не отличается от установки в центрах, так как эксцентричность наружной поверхности относительно отверстия аналогична смещению оси зацентровки с геометрической оси заготовки.

При базировании заготовки по наружной поверхности вращения с установкой в патроне или цанге может возникнуть погрешность установки от смещения оси заготовки в радиальном направлении относительно оси вращения и от смещения заготовки вдоль оси. Однако и в этом случае погрешность установки не повлияет непосредственно на допуск по выдерживаемым диаметральным размерам, так как и обработка, и измерение обрабатываемой поверхности производится относительно оси вращения. Вместе с тем погрешность установки должна быть учтена при расчете припуска на обработку, так как в противном случае он окажется недостаточным в направлении, диаметрально противоположном смещению. Поэтому допуск по выдерживаемому размеру определяется по формуле (73), а припуск на обработку — по формуле (138)

Допуск на размер торцовой поверхности, координированной от измерительной базы, определяем по формуле (71), а допуски на размеры между торцовыми поверхностями, подрезаемыми параллельно, — по формуле (73).

Припуск на обработку торцовой поверхности, координированной от измерительной базы, определяется по формуле (136), а на параллельную обработку торцовых поверхностей, обрабатываемых на предварительно настроенном станке, — по формуле (137).

Технология обработки валов и применяемое оборудование. Как технология обработки, так и выбор оборудования зависят в основном от конфигурации, размеров и жесткости деталей, а также от заданного выпуска их. Учитывая,

что валы с уступами, фланцами и буртами обрабатываются аналогично ступенчатым валам, ограничимся рассмотрением технологии обработки гладких и ступенчатых валов.

Гладкие валы изготовляют обычно из калиброванной стали 3, 3а и 4-го классов точности, причем преимущественно придерживаются следующего маршрута.

1. Отрезка заготовки по длине и снятие фасок на концах на многошпиндельных или одношпиндельных отрезных автоматах либо на токарных отрезных станках, в зависимости от заданной программы.

2. Предварительное шлифование заготовок на бесцентрово-шлифовальном станке.

3. Фрезерование закрытых шпоночных пазов на шпоночно-фрезерных станках, например модели 692А; открытых шпоночных пазов — на горизонтально-фрезерных станках; обработка пазов под сегментные шпонки — на специальных станках или на фрезерных станках с применением специальных устройств.

4. Сверление поперечных отверстий, если они предусмотрены конструкцией, на многошпиндельных или одношпиндельных сверлильных станках, в зависимости от числа отверстий и заданного выпуска.

5. Термическая или химико-термическая обработка (если она предусмотрена).

6. Чистовое шлифование после термообработки на бесцентрово-шлифовальных станках; припуск на чистовое шлифование определяется с учетом деформаций, возникших в результате термической обработки, по формуле

$$2z_{b_{\min}} = 2(H_a + \rho_a).$$

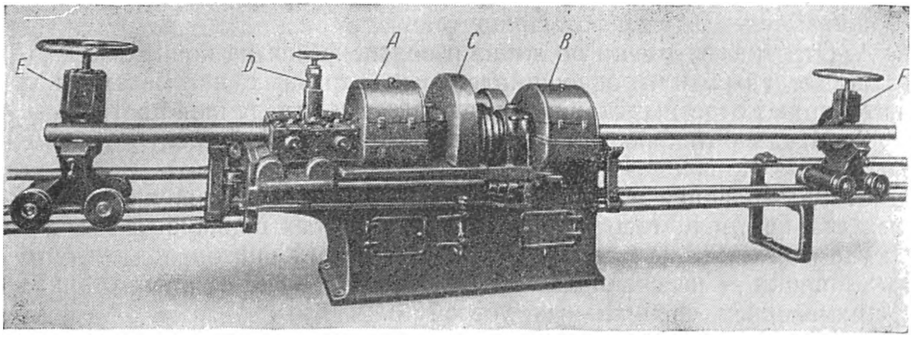
При обработке длинных гладких валов из горячекатаной стали их предварительно обтачивают (фиг. 242) на бесцентровообточных станках (например, модели 9330А), а затем шлифуют на бесцентрово-шлифовальных станках или обкатывают роликами на правильно-полировальных станках с полировальной головкой (фиг. 243); эти же станки, но без полировальной головки, служат для правки черных прутков перед их обтачиванием. Правка длинных черных прутков и обточенных валов может производиться также на специальных правильных прессах.

Ступенчатые валы обрабатываются обычно из штампованных, а в некоторых случаях из литых заготовок.

При незначительном перепаде диаметральных размеров ступеней в качестве заготовки принимают пруток. Критерием целесообразности применения штампованной заготовки является разность коэффициентов использования металла в том и другом случае. При этом целесообразность того или иного вида заготовки определяется из неравенства

$$\frac{g(G'' - G')}{G'G''} \geqslant 0{,}05,$$

где g — вес готовой детали;
G' и G'' — веса исходного металла для штампованной заготовки и заготовки из прутка.



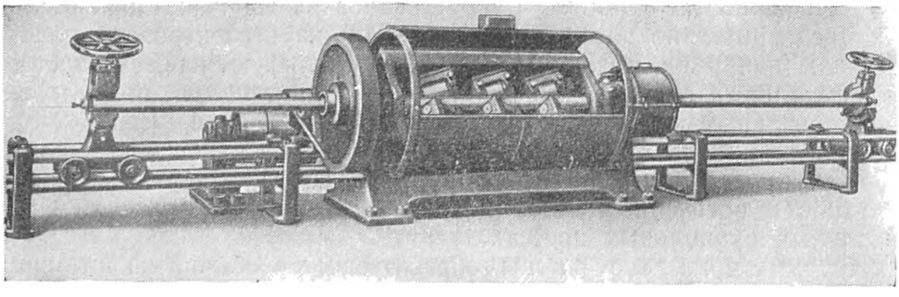
Фиг. 242. Бесцентровообточной станок:

A и *B* — кожухи резцовых головок; *C* — кожух зубчатого колеса; *D* — передняя пружинная роликовая опора (задняя опора находится за кожухом *B*); *E* и *F* — тележки, в которых закрепляется обрабатываемый вал.

Аналогично получаем, что заготовку, изготовленную свободной ковкой, целесообразно применять в том случае, если

$$\frac{g(G''-G')}{G'G''} \geqslant 0{,}1,$$

где G' — вес исходного материала кованой заготовки.

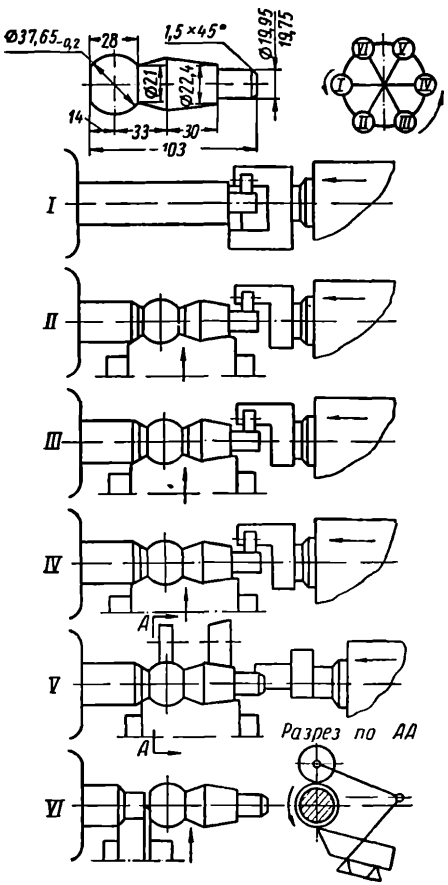


Фиг 243. Правильно-полировальный станок для валов.

При одностороннем расположении ступеней и длине вала $L \leqslant 120$ *мм* обработку производят на прутковых револьверных станках или автоматах (фиг. 244).

Штампованные и нарезанные из прутка заготовки для ступенчатых валов длиной $L > 120$ *мм* обрабатывают обычно в центрах, придерживаясь преимущественно следующего маршрута.

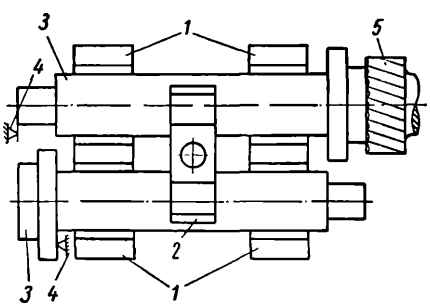
1. Фрезерование торцов и зацентровка производится по одному из трех вариантов: на барабанно-фрезерном и двустороннем центровальном станках (две операции); на горизонтально-фрезерном и центровальном станках (две операции); на двустороннем фрезерно-центровальном полуавтомате моделей 481 или 4815, в зависимости от длины заготовки (одна операция); выбор того или иного варианта диктуется заданным выпуском.



Фиг 244. Обработка детали типа вала на револьверном станке.

На фиг. 245 показана типичная для серийного производства схема обработки торцов валиков на горизонтально-фрезерном станке с перекладыванием заготовок.

После каждого хода стола со второй позиции снимается один подрезанный с двух сторон валик; другой валик перекладывается в освободившуюся вторую позицию для подрезания второго торца, а в первую позицию устанавливается новая заготовка для подрезания первого торца.

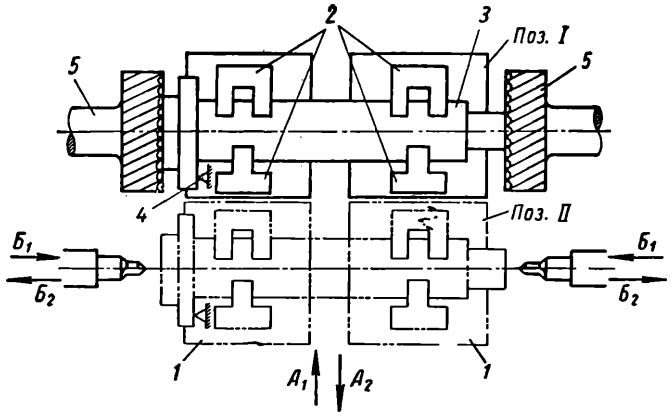


Фиг. 245. Схема фрезерования торцов двух заготовок на горизонтально-фрезерном станке:

1 — установочные призмы; *2* — зажимная призма; *3* — обрабатываемые заготовки; *4* — упоры; *5* — фреза.

Работа с перекладыванием заготовки имеет преимущество перед работой партиями, когда вначале у всей партии валиков обрабатываются в таких же двухместных приспособлениях торцы с одной стороны, а затем торцы с другой стороны.

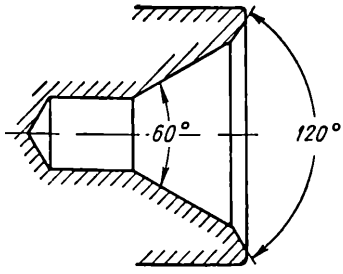
При работе с перекладыванием заготовок исключается пролеживание начатых обработкой заготовок у станков и обеспечивается непрерывность потока.



Фиг. 246. Схема фрезерования торцов и зацентровки на фрезерно-центровальном станке:

1 — суппорты; *2* — зажимные призмы; *3* — обрабатываемая заготовка, *4* — упор; *5* — фрезы стрелки *А* и *Б* показывают последовательное движение суппортов и центровальных шпинделей: пунктиром (поз. *II*) показано конечное положение заготовки при зацентровке гнезд

На фиг. 246 показана типичная для массового и крупносерийного производства схема подрезки торцов (поз. *I*) и зацентровки (поз. *II*) валика.

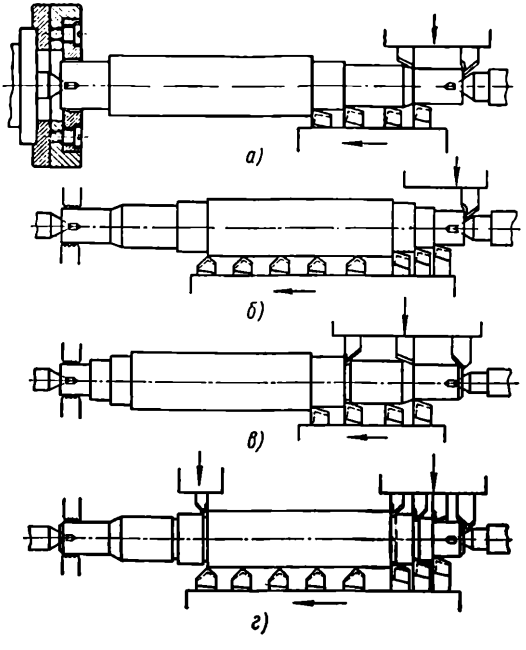


Фиг. 247 Центровое гнездо с предохранительным конусом

Установка для фрезерования торцов и зацентровка производятся в призмах с фиксацией заготовки в продольном направлении базовым уступом или торцом ступени по специально установленному упору.

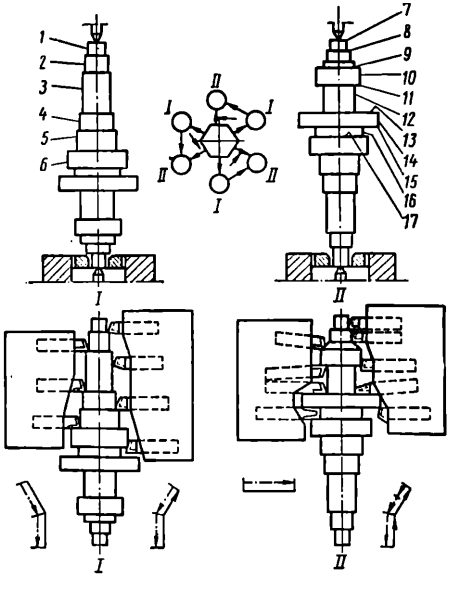
Центровые гнезда выполняются без предохранительного конуса или с предохранительным конусом (фиг. 247). Центровые гнезда с предохранительным конусом имеют то преимущество, что предохраняют установочный конус гнезда от забоин и обеспечивают этим более точную установку. Размеры центровых гнезд выполняются по ОСТу 3725.

2. Черновое и чистовое обтачивание заготовок валов выполняется: на одношпиндельных многорезцовых полуавтоматах (фиг. 248); на вертикальных многошпиндельных полуавтоматах (фиг. 249); на гидрокопировальных полуавтоматах (фиг. 250); на токарных станках, оборудованных гидрокопировальными суппортами; на универсальных токарных станках обычного типа.



Фиг. 248. Обтачивание заготовки на многорезцовом полуавтомате:

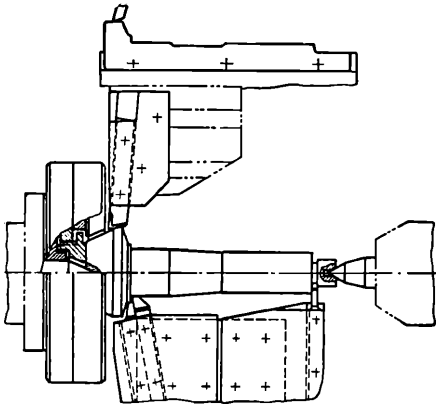
а — черновое обтачивание одного конца; *б* — черновое обтачивание другого конца; *в* и *г* — чистовое обтачивание концов вала в той же последовательности



Фиг. 249. Обработка заготовки вала на вертикальном многошпиндельном полуавтомате:

1—17 обрабатываемые поверхности на предварительной и чистовой обработке.

Обработка на одношпиндельных и многошпиндельных вертикальных многорезцовых полуавтоматах характерна для массового и крупносерийного производства; обработка на токарных станках обычного типа и оборудованных гидрокопировальными суппортами характерна для мелкосерийного производства; применение гидрокопировальных полуавтоматов оказывается целесообразным как в массовом, так и в серийном производстве.



Фиг 250. Обработка заготовки ведущей шестерни на станке типа 1722.

Выбор технологического варианта выполнения основной операции обработки вала — его обтачивания — является сложной задачей; наибольшую сложность представляет выбор между обработкой на горизонтальном одношпиндельном многорезцовом полуавтомате и гидрокопировальном полуавтомате.

На точность многорезцового обтачивания оказывает влияние ряд дополнительных факторов: погрешность взаимного положения нескольких резцов в наладке; неравномерный износ резцов, работа которых протекает в неодинаковых условиях; переменные отжатия в упругой системе станок — заготовка — инструмент вследствие постепенного вступления в работу резцов.

При обработке на одношпиндельных многорезцовых полуавтоматах при предварительном обтачивании обычно получают 4—5-й классы, а при чистовом точении — 4-й класс точности; размеры по длине выдерживаются также по 4—5-му классу. Точность диаметральных размеров может быть повышена до 3 и даже 2-го класса за счет оснащения наладки чистовыми «бреющими» резцами.

При многорезцовой обработке на вертикальных многошпиндельных полуавтоматах последовательного действия, за счет обработки поверхностей за несколько переходов, достигается 2—3-й класс точности; на полуавтоматах параллельного (непрерывного) действия, в результате одноперехолной обработки каждой поверхности на одном суппорте, получают 4-й класс точности.

Многорезцовое обтачивание в любом варианте осуществления имеет преимущества перед однорезцовым обтачиванием в затратах основного (машинного) времени. Наиболее эффективно по машинному времени построение операций многорезцового обтачивания по методу деления длины обработки. В этом случае каждая шейка вала обрабатывается за один проход и длительность основного времени определяется по резцу, обрабатывающему наиболее длинный участок вала.

При использовании в качестве заготовки для ступенчатого вала проката, приходится строить операции по методу деления припуска, так как на участках с меньшими диаметрами припуск не может быть удален за один проход и предшествующие резцы проходят несколько смежных участков; основное время определяется суммарной длиной этих участков.

В штучном времени многорезцовое обтачивание не всегда имеет преимущества перед обтачиванием на гидрокопировальных полуавтоматах. Это объясняется большими затратами подготовительно-заключительного времени и времени технического обслуживания на многорезцовых станках. Опыт показывает, что эти затраты можно считать допустимыми при шести-семи резцах в наладке и предельно при восьми-десяти резцах.

Число резцов в наладке, кроме того, лимитируется жесткостью обрабатываемых заготовок, мощностью станка и сложностью конструкций резцедержавок. Все это осложняет применение многорезцовых полуавтоматов в массовом производстве и препятствует их применению в серийном производстве. Обтачивание на гидрокопировальных полуавтоматах имеет ряд преимуществ перед многорезцовым обтачиванием.

Время на наладку и подналадку гидрокопировальных полуавтоматов, из-за уменьшения числа резцов в наладке, простоты установки копира и упрощения кинематической наладки, меньше, чем для многорезцовых, в 2—3 раза и составляет для наладки средней сложности 30—35 мин.

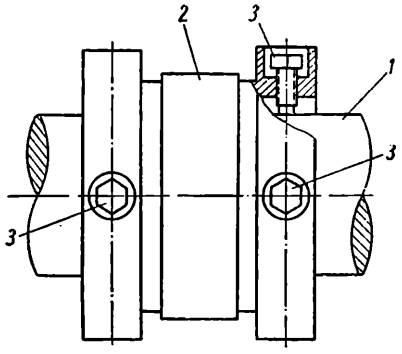
Это делает целесообразной по времени наладку гидрокопировального станка при сравнительно небольших партиях обрабатываемых заготовок. Производительность труда при работе на гидрокопировальных станках повышается не только за счет уменьшения затрат времени на наладку, но и за счет работы с более высокой скоростью резания при более широкой возможности использования мощности станка.

При копировальной чистовой обработке обеспечивается более высокая точность (обычно выдерживается допуск 0,05—0,06 *мм*). Высокая чувствительность следящей системы обеспечивает соответствие размеров обрабатываемой заготовки размерам копира; влияние отжатий в упругой системе невелико из-за малого числа резцов; исключаются неточности взаимного положения резцов и неравномерность их износа.

Особенно целесообразно гидрокопировальное обтачивание для валов нежесткой конструкции, для чистового точения валов с длинными шейками, которые из-за высоких требований к чистоте поверхностей нельзя обрабатывать при многорезцовых настройках методом деления длины.

Выпускаемые модели гидрокопировальных полуавтоматов позволяют обрабатывать валы диаметром до 320 *мм*, длиной до 1250 и до 1600 *мм* (по специальному заказу).

Кроме обработки на гидрокопировальных полуавтоматах, в серийном производстве целесообразно производить обтачивание валов на токарных станках, оборудованных универсальным гидрокопировальным суппортом. Применение гидрокопировального суппорта позволяет сократить вспомогательное время по сравнению с обычными токарными станками в 3—4 раза. Это достигается за счет уменьшения времени отвода и подвода резца при переходе резца со ступени на ступень вала и уменьшения времени на промеры ступеней, так как при копировальной обработке измеряется лишь одна ступень, а размеры остальных ступеней получаются соответственно копиру. Удается также сократить затраты основного времени, так как при автоматическом переходе резца от ступени к ступени, особенно при незначительной длине их, токарь может работать при большем числе оборотов шпинделя.



Фиг. 251. Регулируемая муфта для установки заготовки вала в люнет:

1 — обрабатываемая заготовка; *2* — устанавливаемая в люнет шейка муфты; *3* — регулировочные винты.

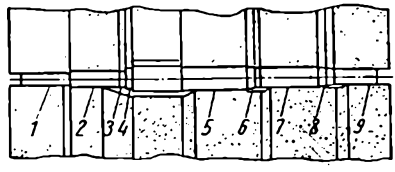
В итоге штучное время обработки валов на токарных станках с гидрокопировальным суппортом сокращается в 2,5—3 раза в сравнении с требующимся при обработке на обычных токарных станках. Подготовительно-заключительное время настолько мало, что дополнительные затраты времени на наладку в сравнении с токарным станком оправдывают себя уже при партии в три-четыре детали.

При единичном изготовлении валов заготовку получают отрезкой от проката или свободной ковкой, в зависимости от конфигурации и размеров вала, а также от перепада диаметральных размеров ступеней. Токарные операции выполняются последовательной обработкой ступеней на обычных токарных станках. При этом зацентровка крупных валов производится по разметке, а сбработка — с креплением в патроне и установкой другого конца вала в люнете; для осуществления такой установки предварительно обрабатывают шейку под люнет, для чего вал устанавливают в патроне с поджимом задним центром. Чтобы избежать специальной обработки шейки под люнет, иногда применяют для валов диаметром до 200 *мм* специальные регулируемые муфты, которые закрепляются на необработанных шейках и служат для установки в люнеты; совмещение осей муфты и обрабатываемого вала достигается регулировкой винтами, головки которых должны быть утоплены в тело фланцев (фиг. 251).

3. Фрезерование шпоночных пазов производится на шпоночно-фрезерных станках торцовой фрезой или на горизонтально-фрезерных станках дисковой фрезой. Вал устанавливается шейками на

призмах, выверенных на параллельность направлению движения подачи.

Шлицевые поверхности на валах обрабатываются на шлицефрезерных станках червячной фрезой, с установкой на жестких центрах. По условиям производительности считается целесообразным в шейках валов диаметром до 60—80 *мм* фрезеровать шлицы за один проход; при бо́льших размерах необходимо разделение на предварительную и чистовую обработку. Обработку шлицевых поверхностей выполняют за две операции независимо от размера в том случае, когда вал проходит термическую обработку с незначительным повышением твердости ($R_C \approx 40$). В этом случае предварительное нарезание делается до термической обработки, когда материал более мягкий; при чистовом нарезании после термической обработки устраняются возникающие пространственные погрешности и обеспечивается требуемая точность и чистота поверхности без шлифования.



Фиг 252. Схема шлифования ступенчатого вала методом врезания на бесцентровошлифовальном станке профильным кругом:

1—9 — обрабатываемые элементы вала.

4. Сверление отверстий, если они имеются, производят на сверлильных станках. Тип станка и установка зависят от конструкции вала и назначения отверстий.

5. Нарезание резьбы производится на резьбофрезерных станках или на токарно-винторезных станках вихревым методом. Нарезание осуществляется при высоких скоростях резания (число оборотов в минуту шпинделя резцовой головки 1000—3000) и медленном вращении заготовки; при этом обеспечивается 2-й класс точности резьбы и 6—7-й класс чистоты ее поверхности при высокой производительности труда; вместе с тем при вихревом нарезании резьбы возникает огранка, вызываемая в основном погрешностями установки резцов и кинематикой процесса резания. Для нарезания резьбы на конце вала применяют болторезные станки, а для коротких валов — резьбонакатные станки с круглыми плашками.

6. Далее следует термическая обработка, после которой производится правка вала на прессе.

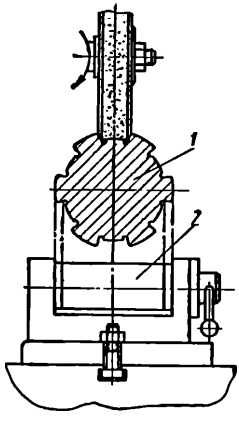
7. Шлифование шеек валов обычно выполняется в две операции — предварительную и чистовую.

Валы шлифуются на круглошлифовальных станках методом продольной подачи (на проход) или методом поперечной подачи (врезанием), с установкой заготовки в центрах; ступенчатые валы небольшой длины и гладкие валы шлифуются на бесцентрово-шлифовальных станках.

Шлифование поперечной подачей отличается высокой производительностью, особенно при обработке профильным кругом или набо-

ром кругов (модель 3180), когда несколькими кругами одновременно шлифуются несколько шеек вала (фиг. 252). В зарубежной практике массового производства применяют наладки с восемью-десятью кругами. Следует иметь в виду, что при многокруговом шлифовании получается пониженная точность диаметральных размеров валов вследствие неравномерного износа кругов.

Известно, что вспомогательное время шлифовальных операций очень велико, особенно для операций, выполняемых на круглошлифовальных станках. Поэтому весьма важно для повышения производительности труда на шлифовальных операциях предусматривать контроль размеров в процессе обработки, исключающий необходимость в остановке станка для промера; при этом многие конструкции приспособлений для контроля на ходу предусматривают автоматическое отключение подачи при достижении заданного размера.



Фиг 253 Схема шлифования шлицев профильным кругом.

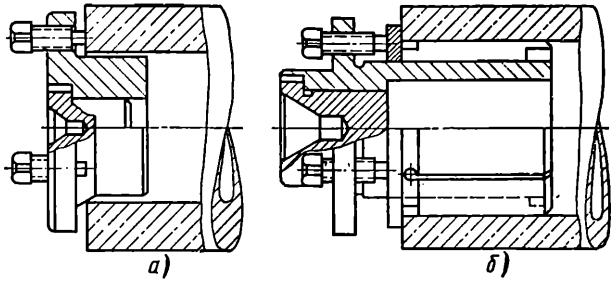
Точность шеек вала после шлифования зависит от состояния центровых гнезд вала и центров станка. Поэтому перед чистовым шлифованием незакаленных валов и особенно валов, прошедших термическую обработку, часто вводят операцию правки, при которой с помощью конусного абразивного круга или притира центровым гнездам вновь придается форма конуса и правильный угол конусности.

8. Шлифование шлицев профильным кругом или набором кругов производится на шлицешлифовальном станке. Вал *1* (фиг. 253) устанавливается на жестких центрах; для выверки углового положения вала при установке применяют установочный шаблон *2*.

9. Шлифование резьбы на валах производится сравнительно редко, так как эта технологическая операция является весьма сложной и трудоемкой, и нужную точность резьб обеспечивают при их нарезании.

Валы с центральными отверстиями. Штампованные поковки для валов с центральными отверстиями выполняются сплошными, поэтому отверстие в таких валах получают глубоким сверлением, которое производят после предварительного обтачивания на центрах наружных поверхностей вращения и подготовки шеек под зажим в патроне и под люнет. Для отверстий длиной l, не превышающей пятикратного диаметра отверстия ($l \leqslant 5d$), применяют спиральные сверла; для отверстий длиной $l > 5d$ применяют ружейные сверла, сверла одностороннего или двустороннего резания, в зависимости от диаметра отверстия. Для отверстий большого диаметра ($d > 100$ *мм*) применяют головки для кольцевого сверления; в ряде случаев целесообразно применять головки кольце-

вого сверления и при диаметрах, несколько меньших 100 *мм*, с использованием высверленного стержня для изготовления других деталей. Как сверление, так и последующая обработка центрального отверстия, производятся обычно на станках для глубокого сверления. Для чистовой обработки центрального отверстия применяют зенкеры и развертки или расточные резцовые головки в зависимости от предъявляемых требований и диаметра отверстия. Последующая обработка наружных поверхностей производится с базированием по отверстию; для этого применяются пробки (фиг. 254) или кресто-



Фиг 254. Пробки:
а — цельные; *б* — разжимные.

вины, снабженные центровыми гнездами. В целях достижения наибольшей конечной точности обработки по концентричности наружных поверхностей относительно отверстия, рекомендуется последующие операции проводить без смены пробок или оправок.

Литые заготовки выполняются обычно с отлитыми отверстиями. В этом случае также целесообразно сначала произвести черновую обработку наружных поверхностей с подготовкой шеек под зажим в патроне и установку в люнете; при этом черное отверстие принимают за базу и производят обработку преимущественно на грибковых центрах; затем производят черновую и чистовую обработку отверстия с установкой заготовки в патроне и люнете. Дальнейшая обработка заготовки ничем не отличается от изложенной раньше. Обработка ступенчатых отверстий представляет некоторые трудности; в этом случае применяют расточные оправки (при $l \leqslant 5d$) или борштанги (скалки) при ($l > 5d$) с набором резцов для параллельной обработки ступеней отверстия. Окончательно обработанные отверстия служат базовыми для шлифования наружных поверхностей.

Т я ж е л ы е в а л ы. К тяжелым условно относят валы диаметром более 200 *мм* и весом более 1 *т*. Конструктивные разновидности тяжелых валов и технические условия их изготовления те же, что и для обычных валов; можно лишь отметить, что тяжелые валы в большинстве случаев имеют центральные отверстия, основным назначением которых является: а) уменьшение веса (при диаметре

центрального отверстия, равном половине диаметра наружной поверхности, вес уменьшается примерно на 25% при уменьшении момента сопротивления всего на 6—7%; б) обеспечение подвода смазки; в) обеспечение возможности взятия проб для исследования качества материала, что для тяжелых валов имеет существенное значение.

Технологические задачи, возникающие при производстве тяжелых валов, не отличаются от задач, встречающихся в процессах при изготовлении обычных валов; следует все же отметить трудности в соблюдении некоторых требований в связи с значительными диаметрами фланцев, центрирующих буртов и большой длиной валов. Так, торцовое биение фланцев не должно выходить из пределов 0,03—0,05 *мк* на 1 *мм* радиуса; центрирующие бурты должны быть концентричны с рабочими шейками; при этом отклонение от концентричности допускается до 30 *мк*; кривизна оси вала не должна выходить из пределов 5—10 *мк* на 1 *м* длины вала.

Заготовки для тяжелых валов получают свободной ковкой преимущественно на прессах и реже на молотах; при этом исходной заготовкой большей частью является слиток. После ковки черные заготовки подвергают обычно отжигу для снятия внутренних напряжений и нормализации. Во избежание трещин при быстром нагреве крупных заготовок (вследствие неизбежного перепада температуры от периферии к центру заготовки) скорость нагрева не должна превышать 75° в час; при этом через каждые 200—300° нагрева дают выдержку 8—10 час. при неизменной температуре. Заготовка выдерживается 20—30 час. в печи при температуре отжига, а затем медленно охлаждается вместе с печью. Цикл отжига тяжелых валов продолжается 70—100 час. Нормализация производится с целью повышения механических свойств металла и осуществляется по аналогичному с отжигом графику.

После термической обработки от концов заготовки отрезают специально выполненные для проб участки и отправляют на механические испытания.

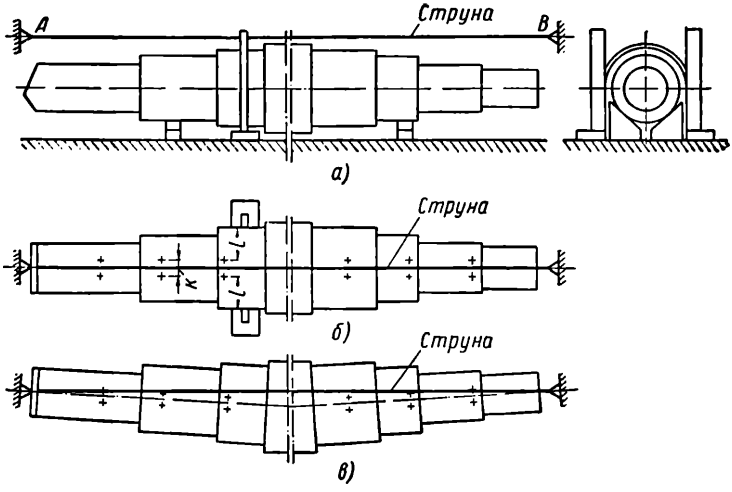
Технология механической обработки тяжелых валов имеет следующие особенности. Обработка начинается с разметки заготовки, которая имеет целью проверку годности заготовки для обработки, получение рисок для сверления центрового гнезда в наиболее выгодных точках торцов, а также для выверки заготовки при установке на станке. Разметка крупных валов производится на плитном настиле, вмонтированном в пол цеха, или на разметочной плите, если позволяют размеры заготовки. Заготовка укладывается и ориентировочно выверяется по горизонтали на регулируемых призмах (фиг. 255); верхняя и одна боковая части заготовки окрашиваются мелом; последовательно к каждой ступени прикладываются с обеих сторон угольники, от которых на верхней части заготовки откладывают размеры l; при этом

$$l = R + z_{чист},$$

где R — половина диаметра вала по чертежу;

$z_{чист}$ — припуск на сторону на чистовую обработку вала.

Размер k между отмеченными точками, находящимися в данном сечении, определяет остающийся припуск на черновую обработку в этом сечении. Соединяя середины расстояний k, находим фактическое положение осевой линии заготовки. Для получения прямой оси натягивают струну AB, которая должна во всех сечениях пройти между конечными точками размера k; в этом случае заготовка



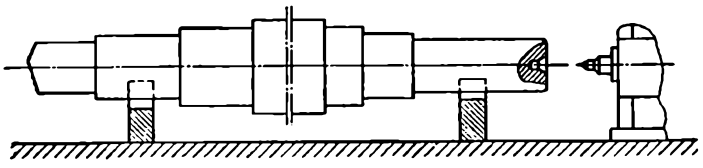
Фиг. 255. Разметка тяжелого вала:

а — установка вала для разметки; *б* — вал, годный для обработки: *в* — вал, подлежащий правке

является пригодной для обработки. Если прямая ось заготовки, определяемая натянутой струной, выходит за пределы конечных точек размера k, то нельзя рассчитывать на качественную обработку заготовки и она должна подвергнуться в этом случае горячей правке и повторной разметке. Положение струны отмечается керном у торца, на котором будет производиться зацентровка. На этот торец наносят вертикальную риску и накернивают ее. Затем вал поворачивают на 90°, делают разметку и отмечают положение струны у торца, на который наносят вторую вертикальную риску, пересекающуюся с первой риской; точка пересечения накернивается под зацентровку. При разметке очень крупных валов угольники заменяют отвесами. Зацентровывают обычно один конец, так как второй конец заготовки зажимают в кулачки планшайбы.

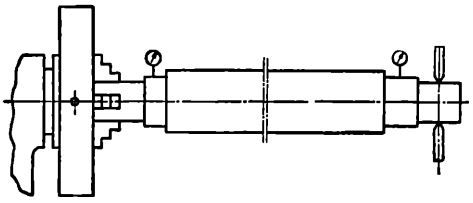
Зацентровку целесообразно производить на переносном горизонтально-сверлильном станке (фиг. 256). Центровые гнезда при обработке тяжелых валов применяют с углом конуса 75 и 90°, как более прочные.

Токарная обработка заготовки производится за несколько установов на станке. При первом установе один конец заготовки зажимают в кулачках планшайбы или патрона, а другой, зацентрованный конец поджимают центром задней бабки; при этом выверяют заготовку рейсмасом по разметочным рискам, нанесенным на ее наружной поверхности; этой установкой пользуются для обтачивания шеек под люнеты, расстояние между которыми не должно превышать $12D$.



Фиг. 256. Зацентровка вала на переносном горизонтально-сверлильном станке.

Обдирка и последующая обработка производятся с креплением вала кулачками планшайбы или патрона и установкой в люнеты.



Фиг. 257. Проверка индикатором заготовки вала на биение.

Для обработки конца, зажатого в кулачках, заготовку перевертывают, зажимают кулачками обработанный ее конец и устанавливают в люнеты. При черновой обработке производят надрезы у концов заготовки, выдерживая размер по длине вала с припуском на последующую обработку торцов. В дальнейшем производится отрезка концов заготовки пилой или отрезными резцами.

При каждой новой установке заготовки ее выверяют на биение индикатором (фиг. 257); для этой цели наиболее часто обрабатывают специальные контрольные пояски; устранение биения достигается перемещением кулачков патрона.

У полых валов глубокое сверление производится после предварительной токарной обработки наружных поверхностей, так как для выверки при установке заготовки на станке для глубокого сверления должны быть подготовлены базы. При расчете припуска на последующую обработку наружных поверхностей с базированием по отверстию необходимо учитывать увод оси отверстия при глубоком сверлении.

Для последующей обработки наружных поверхностей с базированием по обработанному отверстию пользуются регулируемыми

или вварными крестовинами, имеющими центровые гнезда, и центрами станка. Выверка производится с обоих концов в вертикальной и горизонтальной плоскостях; заготовку выверяют также и на биение; точность установки находится в пределах 0,5 *мм*. При установке в центрах выверка не производится; при креплении четырехкулачковым патроном с поджимом задним центром выверка производится со стороны патрона по высоте и на биение; погрешность установки принимают 0,2 *мм*. Для отверстий диаметром менее 400 *мм* пользуются оправками с двумя конусами или разжимными пробками.

Окончательная обработка шеек валов 2-го класса точности производится на шлифовальных станках или на токарных станках при помощи шлифовально-суппортного приспособления. Шлифованием обрабатывают также закаленные на высокую твердость поверхности деталей у валов, изготовляемых по 3-му классу точности. В других случаях окончательная обработка производится широким пружинящим резцом, обеспечивающим 6—7-й класс частоты по ГОСТу 2789-51.

Пружинящие резцы применяются в целях предотвращения произвольного их углубления при обработке в металл, что могло бы повести к порче обрабатываемой поверхности. Для отделочной обработки шеек тяжелых валов применяют также обкатывание роликами, при котором достигается повышение точности, а также чистоты поверхности до 7—8-го класса.

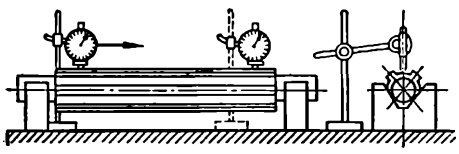
После окончательной обработки шеек производят токарную заправку галтелей, иногда с последующим обкатыванием роликом.

При перемещении тяжелых валов, во избежание их прогиба от собственного веса, пользуются краном и специальными устройствами для захвата, позволяющими подвесить вал в горизонтальном положении с выверкой по уровню; при этом расстояние между опорами при транспортировке и при хранении вала должно исключать прогиб вала.

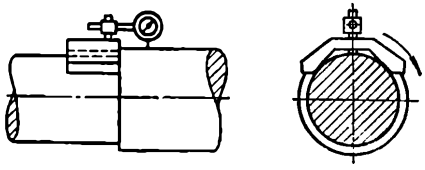
Технический контроль предусматривает проверку диаметральных размеров и длины ступеней, размеров шлицев и резьб на шейках валов; эта проверка осуществляется предельными скобами, шаблонами, шлицевыми кольцами и резьбовыми скобами.

Для проверки биения шеек вала его укладывают на призмы базирующими шейками, а щуп индикатора ставят на измеряемую шейку; разность наибольшего и наименьшего показаний индикатора при повороте вала вручную определяет величину биения измеряемой шейки, т. е. двойной эксцентрицитет. Применяют также многомерные индикаторные контрольные приспособления для проверки диаметральных размеров и биения шеек валов относительно базовых шеек; в этом случае индикаторы приспособления настраиваются по эталону и закрепляются в определенном положении; показания каждого индикатора характеризуют отклонения размеров, а разность показаний по каждой шейке — величину ее биения.

Параллельность шлицев (гребней, впадин и боковых поверхностей) оси опорных шеек определяется путем измерения индикатором в двух крайних положениях (фиг. 258); этой же установкой можно пользоваться для проверки биения гребней и впадин шлицев, производя измерения индикатором по диаметрально противоположным гребням или впадинам.

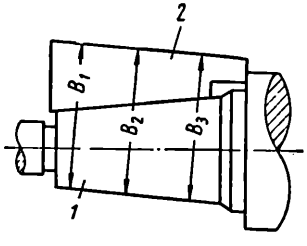


Фиг. 258. Схема проверки параллельности шлицев оси и их биения относительно опорных шеек.



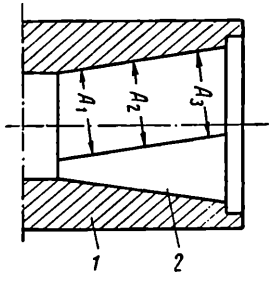
Фиг. 259. Индикаторное поворотное приспособление для проверки концентричности смежных шеек вала

Для технического контроля применяются также автоматические устройства. В частности, например, на МЗМА применяют автомат для контроля и сортировки на размерные группы через 2,5 *мк* поршневых пальцев автомобиля «Москвич» [109]



Фиг. 260. Проверка конической шейки вала методом параллельных сторон:

1 — проверяемый конус
2 — шаблон



Фиг 261. Проверка конических отверстий методом параллельных сторон:

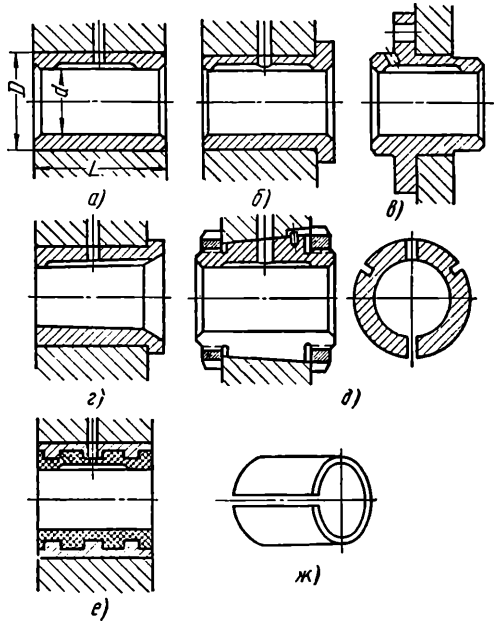
1 — проверяемое коническое отверстие; *2* — шаблон.

Технический контроль тяжелых валов осуществляется преимущественно на станках. В частности, правильность геометрической формы шеек проверяется индикатором на токарном станке; диаметральные размеры шеек контролируются скобами с микрометрическими наконечниками; проверка концентричности смежных шеек вала производится специальным индикаторным поворотным приспособлением (фиг. 259); проверка плоскостности фланцев производится точно пришабренной линейкой на краску. Прямолинейность образующей конуса проверяется лекальной линейкой на просвет

и под щуп. Проверка конических шеек и конических отверстий производится методом параллельных сторон. Специальный шаблон устанавливается по образующей конуса (фиг. 260); измерение параллельности верхней грани шаблона и противолежащей образующей конуса производится микрометрической или индикаторной скобой по краям и в середине конической шейки (размеры B_1, B_2, B_3). Проверка конического отверстия производится тем же методом (фиг. 261); при этом шаблон устанавливают радиусной поверхностью по образующей конического отверстия, а плоская поверхность шаблона, параллельная противолежащей образующей, служит для промеров микронутромером по трем сечениям (размеры A_1, A_2 и A_3).

В. Технология производства втулок

Основные конструктивные разновидности втулок: гладкие (фиг. 262, *а*); с буртами или фланцами (фиг 262, *б*) и (262, *в*); с коническим отверстием (фиг. 262, *г*); разрезные конические (фиг. 262, *д*); с залитым слоем антифрикционного сплава (фиг. 262, *е*); свернутые тонкостенные с открытым швом (фиг. 262, *ж*); поверхности отверстий втулок имеют канавки для смазки; для подвода смазки имеются поперечные отверстия.



Фиг. 262. Конструктивные разновидности подшипниковых втулок.

Технические условия изготовления втулок характеризуются следующими данными. Диаметральные размеры наружных поверхностей задаются по 2 или 3-му классу точности; отверстия — обычно по 2, реже по 3-му классу точности. для ответственных сопряжений — по 1-му классу точности. Разностенность допускается в пределах 0,03—0,15 *мм*. Неперпендикулярность торцовых поверхностей к оси отверстия допускается до 0,2 *мм* на 100 *мм* радиуса, а при осевой нагрузке на торцовые поверхности неперпендикулярность задается в пределах 0,02—0,03 *мм*. Чистота поверхностей задается для наружных поверхностей вращения обычно по 6-му классу;

для отверстий — от 6 до 8-го класса, иногда 9-й класс, в зависимости от предъявляемых требований; для торцовых поверхностей 4-й класс, а при осевой нагрузке на торцовые поверхности 6—7-й класс чистоты.

Материалы, применяемые для изготовления втулок: сталь, латунь, бронза, чугун, специальные сплавы, металлокерамика, пластмассы.

Виды заготовок. Для втулок с диаметром отверстия до 20 *мм* применяют калиброванные или горячекатаные прутки, а также отливки в виде сплошных болванок. Для втулок с диаметром отверстия более 20 *мм* применяют цельнотянутые трубы или литые заготовки с отверстиями; при этом применяют литье в земляные формы машинной формовки, литье в постоянные металлические формы, центробежное литье и литье под давлением. Для свернутых тонкостенных втулок с открытым швом применяют латунный или бронзовый голосовой материал; для таких втулок возможно также применение биметаллической ленты. Заготовки из металлокерамических материалов получают прессованием и спеканием. Заготовки из пластмасс получают также прессованием. Заготовки для втулок, полученные прессованием и литьем под давлением, могут быть выполнены с центральным отверстием практически без ограничения его диаметрального размера, а именно до 3 *мм* и менее, в зависимости от применяемого сплава.

Специфические технологические задачи при обработке втулок заключаются в достижении концентричности наружных поверхностей относительно отверстия и перпендикулярности торцов к оси отверстия. Для тонкостенных втулок возникает дополнительная задача закрепления заготовки при обработке на станках без ощутимых ее деформаций.

Задача концентричности наружных поверхностей относительно отверстия и перпендикулярности торцовых поверхностей к оси отверстия может быть решена тремя способами: 1) обработкой наружных поверхностей, отверстия и торцовых поверхностей за один установ; 2) обработкой всех поверхностей за два установа или за две операции с базированием при окончательной обработке отверстия по наружной поверхности; 3) обработкой всех поверхностей за два установа или две операции с базированием при окончательной обработке наружной поверхности по отверстию.

Обработка за один установ возможна при изготовлении втулок из прутка или трубы с отрезкой обработанной заготовки в конце выполненной операции; однако при жестких требованиях к концентричности, в случае увода оси отверстия при сверлении, возникает необходимость в окончательной обработке наружных поверхностей и торцов с базированием по отверстию.

При индивидуальной отливке крупных заготовок обработка за один установ требует наличия приливов, что значительно увеличивает отходы и понижает коэффициент использования металла. Поэтому для индивидуальных отливок этот способ может быть при-

менен только в единичном производстве; однако и в этом случае он не дает каких-либо преимуществ сравнительно с другими способами решения задачи обеспечения концентричности наружных поверхностей относительно отверстия и перпендикулярности торцовых поверхностей к оси отверстия.

Из двух других способов решения задачи концентричности базирование по обработанному отверстию на последней операции технологического процесса имеет ряд преимуществ сравнительно с базированием по обработанной наружной поверхности: а) при обработке на разжимной оправке погрешность установки или отсутствует (при креплении оправки в центрах), или значительно меньше (при креплении оправки в патроне) сравнительно с обработкой в патроне при креплении заготовки по наружной поверхности; б) при базировании по отверстию его остаточные пространственные отклонения в результате увода оси при сверлении ликвидируются при обработке наружных и торцовых поверхностей, тогда как при обработке отверстия с базированием по наружной поверхности они обычно имеют место.

Базирование заготовок: а) при обработке за один установ заготовки из прутка или труб базами являются наружная поверхность и подрезанный торец, устанавливаемый по упору; б) при обработке индивидуальной заготовки за базу целесообразно принимать предварительно обработанное отверстие и торец заготовки.

Погрешность установки определяется: а) при креплении прутка или трубы в цанге или в патроне — радиальным и осевым смещением заготовки; б) при креплении индивидуальной заготовки в трехкулачковом патроне для зенкерования литого отверстия — радиальным смещением заготовки; в) при протягивании отверстия погрешность установки отсутствует; г) при обработке на разжимной оправке, установленной в центрах, погрешность установки также не имеет места; д) при обработке на разжимной оправке, закрепленной в патроне — незначительным радиальным смещением оправки, которое может быть исключено путем крепления в сырые кулачки, проточенные после установки патрона на станок [1].

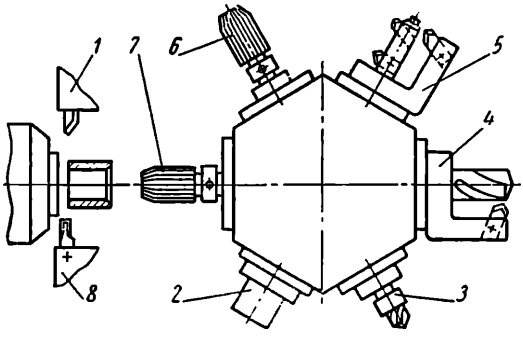
Погрешность установки не влияет на допуски выдерживаемых диаметральных размеров; она влияет на допуски линейных размеров при несовмещенных установочной и измерительной базах; вместе с тем, припуски на обработку как по диаметральным, так и осевым размерам, должны быть увеличены для компенсации погрешности установки.

Пространственные отклонения характеризуются: а) при изготовлении втулок из прутка или трубы — местной кривизной заготовки и уводом оси при сверлении отверстия; б) при изготовлении втулок из индивидуальных литых или прессованных заготовок — уводом оси отверстия заготовки, эксцентричностью наружных

[1] Погрешности установки в цанге и патроне см. в приложении I.

поверхностей относительно отверстия и неперпендикулярностью торцовых поверхностей к оси отверстия, возникающих в процессе обработки.

Пространственные отклонения, изменяя глубину резания в процессе обработки, влияют на величину отжатий в упругой системе станок — заготовка — инструмент, но непосредственно в расчетную формулу для определения допуска не входят; вместе с тем пространственные отклонения влияют на величину припусков и суммируются с погрешностью установки для припусков по диаметральным размерам по правилу квадратного корня, а для осевых размеров — арифметически.



Фиг. 263 Схема обработки втулки на токарно-револьверном станке:

1 — подрезка торца, *2* — подача прутка до упора, *3* — зацентровка под сверление, *4* — сверление отверстия и обтачивание наружной поверхности; *5* — растачивание отверстия обтачивание наружной поверхности и снятие фасок; *6* — предварительное развертывание: *7* — окончательное развертывание; *8* — отрезка.

Технология обработки втулок и применяемое оборудование зависят в основном от вида заготовки.

При обработке втулок из прутка придерживаются преимущественно следующего технологического маршрута.

1. Подрезка торца у прутка, подача прутка до упора, зацентровка под сверление, сверление отверстия и обтачивание наружной поверхности, растачивание или зенкерование отверстия и обтачивание наружной поверхности со снятием фасок на свободном торце, предварительное развертывание, окончательное развертывание, отрезка (фиг. 263); эта операция выполняется на токарно-револьверном станке, одношпиндельном или многошпиндельном автомате.

2. Снятие фасок с противоположного торца втулки на вертикально-сверлильном или операционном токарном станке.

3. Сверление смазочного отверстия на вертикально-сверлильном станке.

4. Нарезание смазочных канавок на специальном станке.

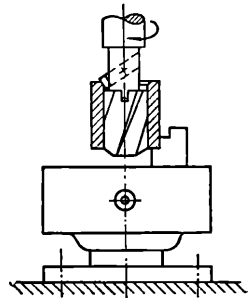
5. Шлифование наружной поверхности на круглошлифовальном или бесцентрово-шлифовальном станке.

При обработке втулок из трубы переход сверления, естественно, выпадает, и вместо сверления производится зенкерование или растачивание отверстия; в остальном процесс не отличается от обработки втулки из прутка.

При обработке втулок из индивидуальной отливки или поковки целесообразно применять следующий технологический маршрут.

1. Зенкерование отверстия втулки и снятие фаски в отверстии на вертикально-сверлильном станке (фиг. 264); в связи с тем, что при закреплении втулки в патроне базирующей является наружная поверхность втулки, расчет припуска на зенкерование следует производить по формуле (138) с учетом увода оси литого отверстия и погрешности установки втулки в патроне.

2. Протягивание отверстия на горизонтально-протяжном станке со сферической самоустанавливающейся шайбой, которая применяется в связи с тем, что торец втулки необработан; протягиванием остаточный увод оси отверстия не исправляется, а погрешность установки не имеет места, поэтому припуск под протягивание определяют по формуле (138) с исключением подкоренных значений и, следовательно, с учетом только высоты поверхностных неровностей и глубины дефектного поверхностного слоя. Обычно у втулок, которые запрессовывают в корпус, оставляют после протягивания припуск на окончательную обработку отверстия после запрессовки.



Фиг. 264. Зенкерование и снятие фаски в отверстии втулки.

3. Однократное или предварительное обтачивание наружной поверхности, в зависимости от точности выполнения черной заготовки, подрезка торцов и снятие наружных фасок на токарно-многорезцовом полуавтомате; операция выполняется с базированием по отверстию на разжимной оправке или с запрессовкой втулки на цилиндрическую оправку.

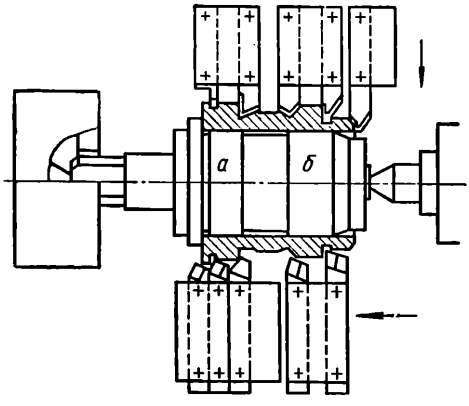
При расчете припуска на диаметр погрешностью установки можно пренебречь, а пространственное отклонение должно включать остаточное смещение оси отверстия после зенкерования. Для торцовых поверхностей отсутствуют и погрешность установки и пространственные отклонения.

4. Чистовое обтачивание наружной поверхности, если производилось не однократное, а предварительное обтачивание; чистовую подрезку торцов производят лишь в том случае, если это вызывается допуском на размер по длине и требованиями, предъявляемыми к торцовым поверхностям; в этом случае операция выполняется на многорезцовом полуавтомате; если производится обтачивание только наружной гладкой поверхности, то операция может быть выполнена на обычном токарном станке; при ступенчатой наружной поверхности операция выполняется на многорезцовом полуавтомате (фиг. 265), с прессовой посадкой по шейкам *а* и *б* оправки.

Последующие четыре технологические операции аналогичны операциям 2, 3, 4 и 5 маршрута обработки втулки из прутка.

Технология изготовления втулок различных конструктивных разновидностей отличается лишь наладкой для обработки наружных поверхностей на многорезцовых полуавтоматах. Втулки с коническим отверстием зенкеруются и развертываются коническим инстру-

ментом с подачей до упора. У разрезных конических втулок при многорезцовой обработке инструмент, предназначенный для конической поверхности, направляется копиром; кроме того, для этих втулок предусматриваются фрезерные операции для образования прорези и надрезов на наружной поверхности, а также нарезание резьбы на концевых уступах втулки. Для втулок, заливаемых антифрикционным сплавом, предусматривается операция растачивания канавок в отверстии. Свернутые втулки с открытым швом обрабатываются аналогично литым гладким втулкам; при этом в шов вставляется прокладка, которая укрепляется в нем легкоплавким припоем и удаляется по окончании обработки.



Фиг. 265. Обработка втулки со ступенчатой наружной поверхностью на многорезцовом полуавтомате.

Металлокерамические втулки изготовляются преимущественно на железной или медной основах. Материалы на медной основе отличаются меньшим коэффициентом трения, лучшей прирабатываемостью, но обладают меньшей механической прочностью.

При обработке железокерамических деталей резцы с пластинками из твердого сплава ВК8 обеспечивают высокую стойкость, а наличие переходной режущей кромки с углом заточки 1,5—2° дает высокую чистоту поверхности при режимах резания: $v = 200 \div 400$ *м/мин*, $s = 0{,}05 \div 0{,}15$ *мм/об*, $t = 0{,}5 \div 1{,}2$ *мм*.

С целью улучшения антифрикционных свойств пористые втулки после спекания подвергаются пропитке авиационным маслом в ванне, нагретой до температуры 110—120°. В зависимости от толщины стенки втулки продолжительность ее пропитки колеблется от 45 мин. (для стенки 4 *мм*) до 120 мин. (для стенки 9,5 *мм*).

Отверстия пористых втулок не рекомендуется калибровать шариком, так как в этом случае поры частично закрываются и самосмазывающая способность втулки понижается; поэтому целесообразнее обрабатывать отверстие втулки тонким растачиванием. В связи с высокой точностью, которая обеспечивается металлокерамической технологией, ограничиваются обычно однократной обработкой.

Втулки из пластмасс могут быть изготовлены из прутка, из трубы или из индивидуальной заготовки, полученной прессованием. Технология обработки втулок из прутка и трубы аналогична обработке металлических втулок. Высокая точность прессования индивидуаль-

ных заготовок для втулок позволяет ограничиваться однократной обработкой их резанием.

Технический контроль втулок включает проверку диаметральных и осевых размеров, чистоты поверхностей (преимущественно по эталонам), концентричности наружных поверхностей относительно отверстия и перпендикулярности торцов к оси отверстия. Для контроля наружных поверхностей вращения, их концентричности относительно отверстия и перпендикулярности торцов к оси отверстия целесообразно применять многомерное индикаторное контрольное приспособление, аналогичное приспособлению для проверки ступенчатых валов.

Г. Технология производства зубчатых колес

Основные конструктивные разновидности зубчатых колес показаны на фиг. 266. По технологическим признакам различают: а) одновенцовые зубчатые колеса — цилиндрические с прямыми и спиральными зубьями, конические с прямыми и спиральными зубьями, червячные; при этом различают зубчатые колеса со ступицей и фланцевого типа; б) многовенцовые цилиндрические зубчатые колеса; в) шестерни-валы одновенцовые цилиндрические и конические; г) шестерни-валы цилиндрические многовенцовые.

Технические условия изготовления зубчатых колес характеризуются следующими основными данными: центральное отверстие выполняют обычно по 2-му классу точности и 7-му классу чистоты, центрирующее отверстие фланцевых зубчатых колес — по 1 или 2-му классу точности и 7-му классу чистоты, размер между торцовыми поверхностями фланца для крепежных отверстий (ширина фланца) — по 3-му или 3а классу точности, чистота торцовых поверхностей — по 7-му классу.

Посадочные шейки шестерен-валов выполняют по 2-му классу точности и 7—8-му классу чистоты.

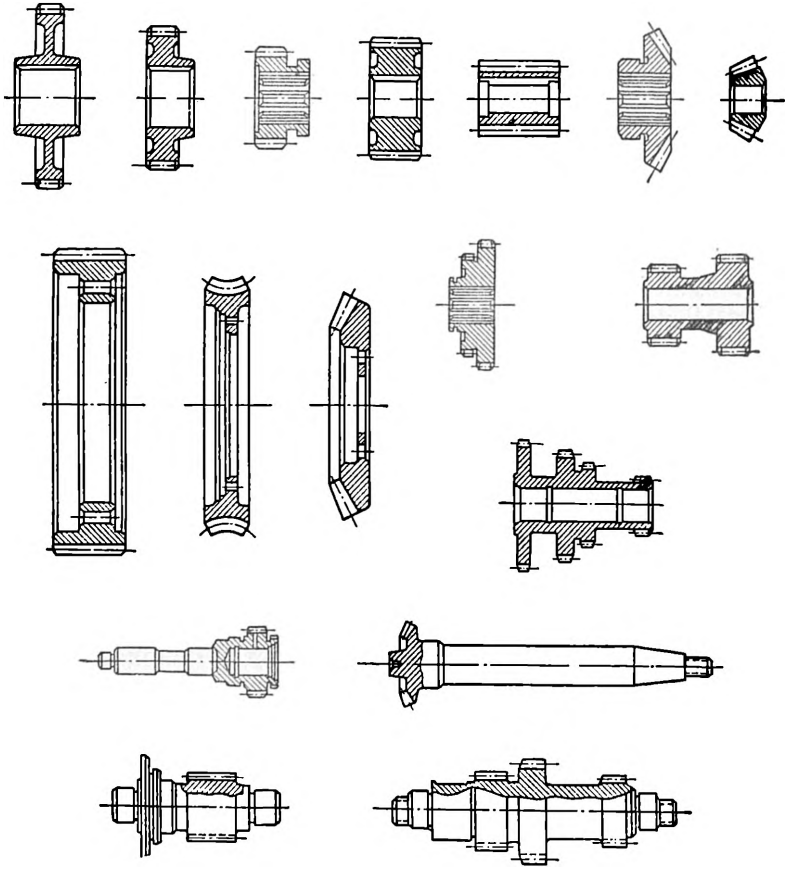
Остальные размеры колес задаются по 3а, 4 и 5-му классам точности и от 2 до 5-го класса чистоты. Внутренний несопрягаемый контур фланцевых колес выполняют обычно по 7-му классу точности и 2-му классу чистоты.

Отклонение от перпендикулярности торцов ступицы и зубчатого венца к оси отверстия (биение торцов) задается величиной 0,15 *мк* и более на 1 *мм* диаметра в зависимости от условий работы зубчатого колеса.

Технические условия на обработку зубьев регламентированы ГОСТом 1643-56 для цилиндрических, ГОСТом 3675-56 для червячных, ГОСТом 1758-56 для конических передач.

Материалы. Для изготовления силовых цилиндрических и конических зубчатых колес применяют главным образом хромистые, хромоникелевые и хромомолибденовые цементуемые стали; чугунное

или стальное литье и сталь марки Ст. 5 применяют для передач, работающих с окружной скоростью $v \leqslant 3$ *м/сек*; из пластмасс изготовляют колеса, осуществляющие главным образом кинематические связи; бронзу или антифрикционный чугун применяют для червячных колес.



Фиг. 266 Конструктивные разновидности зубчатых колес.

Виды заготовок. Пруток применяется для зубчатых колес диаметром до 50—60 *мм*; при бо́льших размерах применяются поковки, отливки и прессованные из пластмасс заготовки.

Поковки выполняются горячей штамповкой, ковкой в подкладных штампах или свободной ковкой в зависимости от заданного выпуска зубчатых колес; при этом заготовки для одновенцовых колес выполняют штамповкой на молотах или механических ковочных прессах; заготовки для многовенцовых колес и шестерен валов штам-

пуют обычно на горизонтально-ковочных машинах; заготовки для мелких шестерен валов выполняют в ряде случаев холодной высадкой; штампованные заготовки подвергают иногда калибровке-чеканке, что исключает в последующем обработку торцов лезвийным инструментом перед протягиванием.

При заданном объеме выпуска выбор в качестве заготовки прутка или поковки решается путем определения разности коэффициентов использования металла в том и другом случае; при этом целесообразность выбора штампованной заготовки определяется отношением

$$\frac{g(G''-G')}{G'G''} \geqslant 0{,}05,$$

где g — вес готовой детали;

G' — вес исходного металла для штампованной заготовки;

G'' — вес заготовки из прутка.

Вместе с тем при выборе заготовки необходимо учитывать то обстоятельство, что соответствующим построением технологических процессов штамповки и предварительной термической обработки черной заготовки можно обеспечить мелкозернистую структуру, благоприятное расположение волокон металла и минимальное коробление заготовки при ее окончательной термической обработке. Кроме того, заготовка может быть получена с прошитым отверстием, что обусловливает значительную экономию металла. При штамповке на молотах прошивка возможна при диаметре отверстия $d \geqslant 25$ *мм* и длине $l \leqslant 2d$.

Предварительная термическая обработка поковок, подвергающихся при последующей обработке цементации, заключается в нормализации, которая применяется для выравнивания структурной неоднородности, получения мелкозернистой структуры и улучшения обрабатываемости резанием; вместе с тем в результате нормализации повышаются твердость и механические свойства стали.

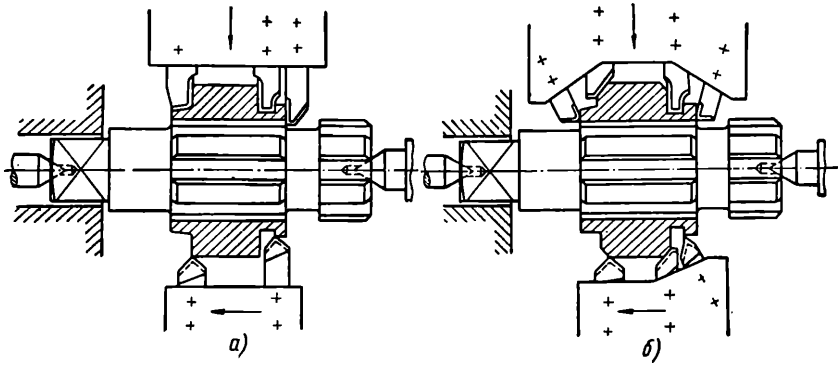
Черные заготовки стальных зубчатых колес, которые не подвергаются в дальнейшем цементации, обычно подвергают термическому улучшению с целью измельчения структуры и повышения вязкости.

Отливки выполняются литьем в земляные формы машинной формовки или центробежным литьем вместе с зубом. Отливки для тяжелых зубчатых колес выполняют отливкой в почву, в ряде случаев также с литым зубом. Бронзовый венец у червячных колес заливают иногда на заформованную чугунную или стальную заготовку; часто венец изготовляется отдельно и напрессовывается на центр колеса.

Технология обработки и применяемое оборудование. По своей конфигурации и размерным соотношениям зубчатые колеса (см. фиг. 266) не представляют самостоятельной технологической группы, и общим для них технологическим признаком служит лишь обработка зубчатого венца. Поэтому технологические процессы обработки заготовок до нарезания зуба

ничем не отличаются от обработки других деталей — втулок, дисков со ступицей или без нее, шкивов, валов сплошных или пустотелых и т. д.

При обработке заготовок для мелких шестерен из калиброванного прутка первая операция, включающая сверление и растачивание отверстия, обтачивание наружной поверхности, подрезку торца и отрезку заготовки производится, в зависимости от заданной программы, на прутковых многошпиндельных горизонтальных автоматах или револьверных станках. Затем протягивают отверстие и шлицы или шпонку, после чего производят чистовое обтачивание и подрезку



Фиг. 267. Схема наладки многорезцового полуавтомата для обработки одновенцового зубчатого колеса:

а — предварительная обработка; *б* — окончательная обработка.

торцов на многорезцовом токарном полуавтомате, а для точных колес, кроме того, шлифование торцов или тонкую их подрезку на точном и быстроходном токарном станке.

Штучные заготовки небольших размеров (диаметром до 150—200 *мм*), полученные методом штамповки или литья, с отверстием или без него, целесообразно обрабатывать в массовом и серийном производстве по следующему технологическому маршруту.

1. Сверление (зенкерование) отверстия на сверлильном станке с установкой заготовки в патроне; при этом желательно обработать цековкой торец, если позволяют его размеры.

2. Протягивание отверстия и шлицевых или шпоночного пазов.

3. Запрессовка заготовки на центровую оправку с фиксацией положения ее переднего торца по длине оправки.

4. Обработка наружной поверхности на токарном многорезцовом полуавтомате за две операции (фиг. 267). Возможность и условия применения этого высокопроизводительного варианта связаны с конструктивными особенностями заготовки.

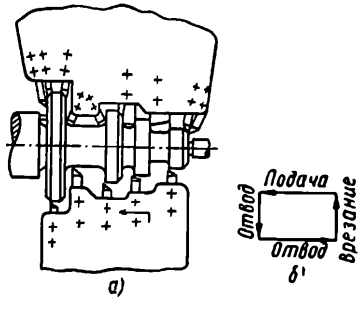
Устойчивая посадка заготовки для обработки на оправке диаметра d возможна при достаточной длине посадочного отверстия l

и сравнительно небольшом диаметре обода D. Считается достаточным если $l > d$ и $D \leqslant 9d$.

Обработка заготовок с отверстиями без шлицевых и шпоночных пазов, на гладкой оправке, связана с опасностью проворачивания заготовки от крутящего момента. Поэтому с установкой на гладких оправках обрабатывают заготовки небольшого диаметра, при незначительной глубине резания.

На фиг. 268 приведена типичная наладка многорезцового полуавтомата для обработки заготовки многовенцового зубчатого колеса.

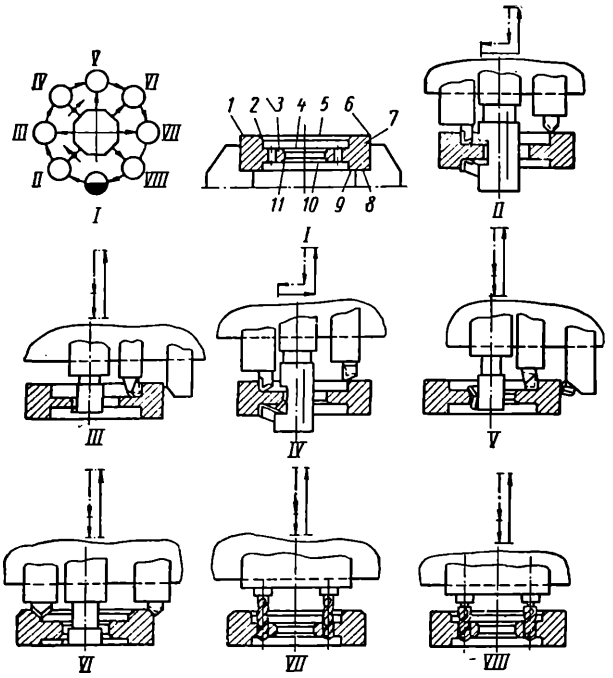
Штампованные и литые заготовки зубчатых колес в массовом производстве обрабатываются также на вертикальных многошпиндельных полуавтоматах (фиг. 269) при одноцикловой наладке за две операции или при двухцикловой наладке за одну операцию и два установа. Аналогичные заготовки зубчатых колес в серийном производстве обрабатываются на револьверных станках с типовыми наладками за две операции, а при больших размерах — на карусельных станках. Валы-шестерни обрабатываются аналогично ступенчатым валам. На фиг. 270 приведена характерная для массового производства схема наладки для обработки заготовки вала-шестерни.



Фиг. 268. Схема наладки многорезцового полуавтомата для обработки многовенцового зубчатого колеса:

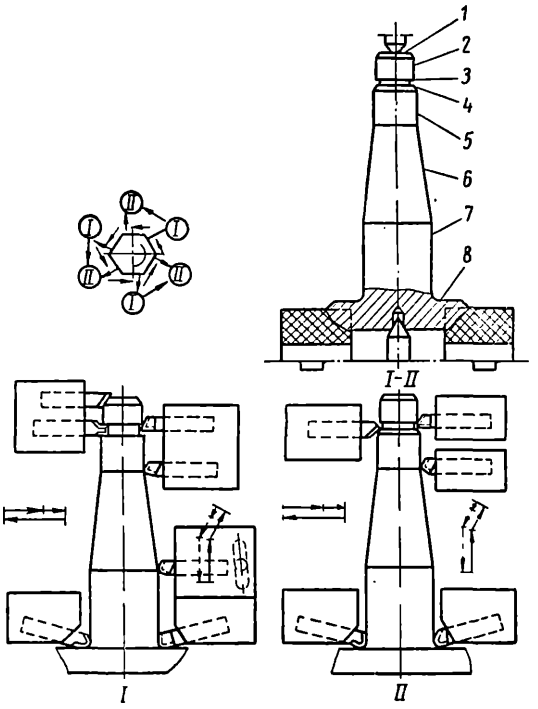
а — схема наладки; *б*—цикл работы переднего суппорта с врезанием по нормали к оси вращения.

Шлицевые отверстия диаметром до 200 *мм* обрабатывают обычно комплексными черновыми протяжками, а затем калибрующей протяжкой бокового резания. В тяжелом машиностроении обработка шлицевых отверстий диаметром более 200 *мм* комплексными протяжками экономически нецелесообразна, так как в связи с большой глубиной шлицевого паза, превышающей 25 *мм*, необходим комплект из четырех-шести черновых и одной калибрующей протяжек. Изготовление крупных протяжек весьма трудоемко и связано с большим расходом высоколегированной инструментальной стали, хотя они и выполняются пустотелыми. Поэтому крупные шлицевые отверстия целесообразнее обрабатывать методом одиночного протягивания каждого шлица с применением адаптора, имеющего продольный паз для направления шпоночной протяжки и делительного устройства. На Уралмашзаводе применяют два метода протягивания крупных шлицевых отверстий. Первый метод заключается в том, что сначала пазы протягивают начерно шпоночной протяжкой, а затем шлицевое отверстие обрабатывают окончательно комплексной комбинированной шлицевой протяжкой за один проход. По второму методу обработка каждого паза производится черновой и калибрующей



Фиг 269. Схема наладки восьмишпиндельного полуавтомата на одноцикловую обработку зубчатого колеса (включая сверление отверстий во фланце):

I—11 — поверхности обработки



Фиг 270. Схема наладки полуавтомата непрерывного действия на двухцикловую обработку с применением копирной державки:

I—9 — поверхности обработки

шпоночными протяжками в приспособлении с делением по шагу [113].

Заготовки, обработанные под нарезание зуба, поступают на операции зубофрезерования или зубодолбления в зависимости от конструкции зубчатого колеса.

На зуборезных операциях валы-шестерни устанавливаются в центрах, а шестерни с отверстием — на оправке.

По условиям производительности зубчатые колеса небольшого модуля ($m \leqslant 4$—5 *мм*) целесообразно обрабатывать за одну операцию, а при большем модуле целесообразно разделять на предварительную и чистовую обработку.

Предварительную обработку зуба, а также окончательную обработку зуба невысокой точности в целях снижения трудоемкости выполняют многозаходной червячной фрезой. Чистовая обработка выполняется однозаходной фрезой со шлифованным зубом или долбяком. Зубодолбление имеет преимущество по производительности перед зубофрезерованием при обработке зуба малого модуля ($m \leqslant 2{,}5$—3 *мм*); с увеличением модуля зуба и диаметра нарезаемых колес режимы обработки долбяком снижаются, вследствие чего снижается и производительность. Зубодолбление является единственным методом обработки зуба внутреннего зацепления и зуба многовенцовых шестерен, когда конструкцией не обеспечены врезание и выход червячной фрезы при зубофрезеровании.

Черновое фрезерование зубьев прямозубых конических колес производят дисковыми фрезами методом деления на специальных станках при многоместной многоинструментной настройке или на обычном горизонтально-фрезерном станке с делительной головкой.

Чистовое фрезерование зубьев прямозубых колес производят методом обкатки на зубострогальных станках.

Обработка зубьев режущими инструментами является весьма трудоемкой и дорогостоящей операцией; трудоемкость обработки зуба достигает 60% общей трудоемкости изготовления зубчатого колеса, причем при обработке зубьев отходит в стружку 9—15% веса заготовки, а прочностные качества зубчатого профиля ухудшаются. Поэтому возникла необходимость изыскания новых технологических методов получения зубьев. Одним из таких методов является образование зубьев путем пластической деформации в горячем состоянии. На некоторых заводах этот новый метод получил промышленное применение при изготовлении цилиндрических зубчатых колес. Сравнительно с фрезерованными зубьями себестоимость накатанных зубчатых колес снижается на 20%, а износоустойчивость повышается на 50—70%.

Накатывание зубьев осуществляется на специальных станах путем выдавливания металла из впадин по профилю зубьев накатником. Зубчатый профиль, полученный этим методом, обеспечивает высокую точность и чистоту поверхности 5—8-го класса по ГОСТу 2789-51.

Нарезание конических колес с круговыми зубьями производится резцовой головкой на зуборезных станках методом обкатки[1].

Сравнительно большая трудоемкость зуборезных работ заставляет технологов изыскивать более эффективные методы зубообработки. Повышение производительности при обработке зубьев колес достигается применением многозаходных фрез, фрезерованием на больших подачах, скоростным фрезерованием, накаткой зубьев на горячей заготовке, протягиванием зубьев фасонным инструментом, одновременной обработкой нескольких колес, размещенных вокруг одного долбяка большого диаметра, зубодолблением фасонным инструментом одновременно всех зубьев одной заготовки и другими методами [111].

За зубонарезанием следует операция закругления зубьев на зубозакругляющем полуавтомате; эта операция предусматривается для встречных кромок переключаемых зубчатых колес.

После этой операции производят шевингование зубьев в целях корректирования погрешностей, возникших в процессе их нарезания и повышения чистоты рабочей поверхности зуба; шевингование значительно повышает точность изготовления зубчатых колес; в частности, для колес модуля 2—5 *мм* это иллюстрируется следующими данными:

Величина погрешностей в *мк*

Элементы погрешностей	До шевингования	После шевингования
по шагу	20—30	8—12
по профилю	20—30	5—10
по спиральности зуба на длине 30 *мм*	50	10
по биению начальной окружности для диаметров от 50 до 400 *мм*	70—100	25—35

Шевингование является последней операцией для незакаливаемых цилиндрических зубчатых колес; перед термической обработкой шевингуют зуб в целях уменьшения деформаций колеса в процессе термической обработки.

Бочкообразность зуба получается на шевинговальном станке либо качанием стола, либо специальным профилем шевера. Из разнообразных способов уменьшения толщины зуба у вершины лучшие результаты дает шевер специального профиля.

После нарезания зубьев конических колес производят их обкатку на проверочно-обкатных станках, являющуюся последней операцией перед термообработкой конических зубчатых колес.

---

[1] На станках модели 528 (для наибольшого модуля 15 *мм*) и модели 5П23А (для мелкомодульных колес).

Шевингование зубьев, обеспечивающее хорошее качество колес при высокой производительности метода обработки, нашло широкое применение в производстве цилиндрических зубчатых колес, а для конических зубчатых колес не применялось вследствие сложности и малой эффективности предлагавшихся методов обработки. В 1954 г. был опубликован новый, более эффективный способ шевингования конических колес, разработанный инж. В. В. Якиманским, который в настоящее время внедряется.

Термическая обработка зубчатых колес, изготовляемых из цементуемых марок сталей, включает: 1) защиту от цементации элементов зубчатого колеса, не подлежащих закалке; эта защита осуществляется путем обмазки жидким стеклом с асбестовым порошком или омеднением; 2) цементацию; 3) закалку и отпуск. Зубчатые колеса фланцевого типа закаливают, в целях уменьшения коробления, в специальных штампах на закалочных прессах; уменьшение деформации зубчатых колес достигается также применением изотермической или ступенчатой закалки. Следует, однако, отметить, что значительная часть суммарной деформации цементованных заготовок в результате их термообработки приходится на цементацию.

Колеса, изготовляемые из закаливаемых марок стали, подвергаются закалке и отпуску; при этом целесообразно применять поверхностную закалку зубьев, которая осуществляется преимущественно токами высокой частоты.

Применением указанных мероприятий и строгим соблюдением режимов термообработки достигается значительное уменьшение деформаций, величину которых следует учитывать на предшествующей механической обработке. В результате этого можно исключить, значительно сократить или заменить операцией притирки весьма трудоемкую операцию шлифования зубьев колес.

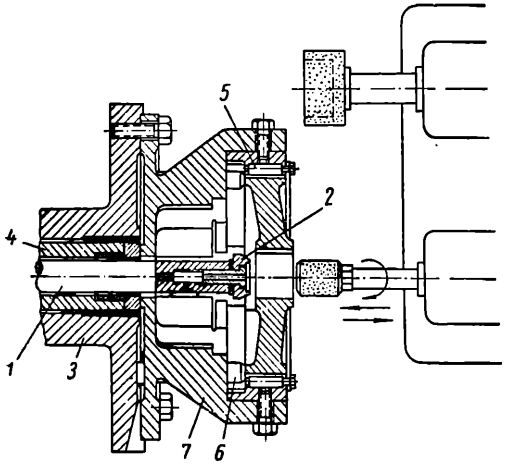
После термообработки выполняются следующие операции.

Прежде всего производится шлифование центрального отверстия с базированием по начальной окружности колеса. Для колес фланцевого типа эта операция совмещается с шлифованием торца (за два перехода с одного установа заготовки), чем достигается наименьшее отклонение от перпендикулярности плоскости торца к оси отверстия (фиг. 271). Затем, если требуется, производится шлифование второго (противолежащего) торца на вертикальном плоскошлифовальном станке (обработка производится торцом шлифовального круга); эта операция выполняется с установкой на противолежащий шлифованный торец.

Для шлицевых отверстий, сопрягаемых по дну впадин, производится калибровка дна впадин и боковых поверхностей шлицев; эта операция производится прошиванием на прессе; при этом шлифованное по головкам шлицев отверстие обеспечивает надежное направление калибрующей прошивке. Для шлицевых поверхностей, сопрягаемых по боковым поверхностям шлицев, операция шлифо-

вания отверстия может быть исключена и его обработка ограничивается калиброванием прошивкой только боковых поверхностей шлицев.

После обработки отверстия производится притирка зубьев на зубопритирочном полуавтомате или шлифование зубьев на зубошлифовальном станке. На притирку зубьев оставляют припуск не более 50 *мк*, так как при большем припуске возможно искажение профиля зуба. Шлифование зубьев, как было уже сказано, является весьма трудоемкой операцией и применяется только для зубчатых передач высоких классов точности [1]



Фиг. 271 Схема наладки операции шлифования центрального отверстия и торца зубчатого колеса:

1 — шток, *2* — калибр; *3* — планшайба станка, *4*—шток пневмоцилиндра; *5*—базирующие заготовку ролики; *6* — опорные пальцы патрона; *7* — корпус мембранного патрона.

Технический контроль Точность изготовления зубчатых колес характеризуется следующими показателями:

кинематической точностью и плавностью осуществления колесом передачи вращения сопряженному элементу;

обеспечением заданной поверхности прилегания боковых поверхностей зубьев;

величиной и постоянством величины бокового зазора между нерабочими профилями;

чистотой боковой поверхности зубьев;

шумовыми явлениями, сопровождающими процесс работы колес (для скоростных передач).

В различных условиях применения зубчатых передач значение каждого из этих показателей бывает различным [112].

В производстве зубчатых колес окончательный технический контроль осуществляется либо непосредственной проверкой изготовленного колеса, либо профилактической проверкой средств производства.

В первом случае, т. е. при непосредственном окончательном контроле изготовленного колеса, проверяется посредством определенного показателя комплекс таких погрешностей, которые характеризуют

[1] Погрешности зубошлифования в зависимости от применяемого станка находятся в пределах: 1) по профилю от 2 до 5 *мк*; 2) по шагу от 3 до 6 *мк*; 3) по биению от 10 до 20 *мк*; 4) по направлению зуба на длине 15 *мм* — 2,5 *мк* [112]

точность выполнения колесом его служебного назначения. Контроль должен производиться при совмещении измерительной и сборочной баз. Колеса ответственных зубчатых передач малых и средних размеров контролируются обычно путем непосредственной проверки комплекса погрешностей обработанных колес.

Вместе с тем в процессе наладки каждой операции зубообработки, в целях выявления технологических погрешностей, вызывающих неточность обработки зубьев, применяют поэлементный технологический контроль зубчатых колес, осуществляемый путем измерения тех элементов, которые имеют непосредственную связь с отдельными составляющими наладки (погрешности станка, геометрические погрешности инструмента и его установки, погрешности установки заготовки и т. п.). При этом, в целях выяснения влияния каждого технологического фактора отдельно, при технологическом контроле необходимо совмещать измерительную базу с технологической, а не со сборочной, как это имеет место при окончательном контроле [1].

Таким образом, комплексный окончательный контроль зубчатых колес сочетается в производственных условиях с технологическим поэлементным контролем, а также с профилактическим контролем средств производства.

При изготовлении крупногабаритных колес вследствие практической невозможности создания приборов для их контроля с весьма малой относительной погрешностью измерения (несколько микрон при диаметре несколько метров) пользуются профилактической проверкой средств производства по указанным выше элементам технологической системы, участвующим в процессе образования поверхностей зубьев.

Увеличение скоростей и нагрузок в современном машиностроении предъявляет повышенные требования к точности выполнения и качеству рабочих поверхностей зубьев. Кроме того, производительность зубообрабатывающих операций несоизмеримо низка сравнительно с операциями обработки заготовок до нарезания зуба. В связи с этим возникла задача изыскания новых методов обработки зуба. Применяемые методы нарезания зубьев основаны, как правило, на весьма сложной кинематике процесса, связанной с точно согласованными и многообразными движениями инструмента и заготовки, дающими в своей совокупности профиль и взаимное положение зубьев. Многозвенность рабочих механизмов станков не может обеспечить высокой жесткости всей системы, являющейся одним из основных условий точности и производительности. Части механизмов рабочих движений станка имеют в своих сопряжениях зазоры, наличие которых является основным препятствием к увеличению жесткости. Износ сопряженных элементов снижает точность взаимосвязан-

[1] Методы и средства контроля здесь не рассматриваются, так как они изучаются в курсе «Допуски и технические измерения», см. методы контроля зубчатых колес [112].

ных рабочих движений и значительно уменьшает жесткость технологической системы станок — заготовка — инструмент. Это последнее обстоятельство вынуждает к уменьшению силы резания и, следовательно, к снижению режима резания и производительности. Поэтому возникли тенденции упрощения цикла рабочих движений станка и процесса получения требуемого профиля и взаимного положения зубьев не путем комбинации многообразных движений инструмента и заготовки, а за счет конструкции инструмента, сведя к минимуму рабочие движения станка и увеличив этим жесткость всей системы.

Одним из таких решений является метод протягивания или прошивания зубьев. С 1929 г. на заводе Форда в Дирборне, а затем на Горьковском автозаводе для обработки зубчатого сектора рулевого управления автомобиля применен метод протягивания. Однако простой прямолинейный профиль этих зубьев реечного типа и наличие на детали всего двух, а позднее трех зубьев делали задачу более простой и доступной для решения, чем обработка зубьев по всей окружности колеса.

Попытки применить обработку зубьев с последовательным поворотом колеса вокруг своей оси потерпели неудачу, так как возвращали к недостаткам обычных зуборезных станков и приводили к неравномерности окружного шага в результате погрешностей индексации и одностороннего приложения силы резания.

В 1939 г. была применена круглая протяжка, обрабатывающая все зубья цилиндрического колеса одновременно (параллельная обработка всех зубьев). Протяжка в этом случае составлялась из последовательного ряда секций-колец, набранных в трубообразную оправку. Между кольцами оставлялись зазоры, образующие карманы для стружки. Размеры карманов должны быть достаточными для вмещения всей сходящей стружки при рабочем движении протяжки. Процесс нарезания зубьев осуществлялся за один ход протяжки.

По окружности оправки в зазорах между секциями протяжки предусмотрены отверстия для охлаждающей жидкости. Во время холостого хода секций протяжки давление охлаждающей жидкости автоматически увеличивается в несколько раз и стружка выбрасывается из карманов мощными струями жидкости, бьющими из отверстий между карманами. Окончательный сброс стружки и очистка инструмента для следующего рабочего хода осуществляется потоком жидкости, поступающей через патрубок в верхнем конце оправки.

В середине 1940 г. фирмой Американ Броуч выпущен вертикальный протяжной станок для обработки зубьев цилиндрических колес способом, несколько отличающимся от вышеописанного. Вместо кольцевой протяжки применен комплект продольных протяжек — по одной для каждой впадины зуба обрабатываемого колеса. Протяжки собраны в специальном приспособлении — державке; при этом положение отдельных протяжек относительно оси заготовки может точно регулироваться индивидуальным перемещением в пазах приспособ-

ления. Кроме того, положение всего комплекта протяжек вместе с приспособлением может регулироваться для достижения концентричности начальной окружности относительно оси заготовки. Для увеличения производительности выпускаются двухшпиндельные станки. Производительность станка превышает в 8—10 раз производительность обычных зуборезных станков.

Новые методы зубообработки значительно повышают точность изготовления зубчатых колес.

Вместе с тем необходимо отметить, что уменьшение шума при работе зубчатых передач и вообще повышение их эксплуатационных качеств достигается не только точностью обработки, но также и путем конструктивных мероприятий, в частности применением колес со спиральным зубом, увеличением числа зубьев, их длины и угла спирали, бочкообразной формой зуба у одного из пары находящихся в зацеплении колес, уменьшением толщины зубьев у вершины (фланкированием), компенсирующим неточность взаимного положения отверстий под опоры в корпусной детали, и другими конструктивными решениями.

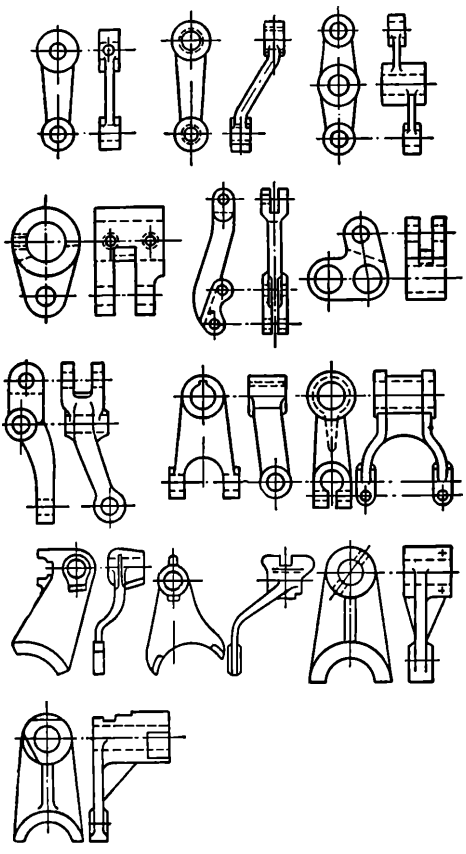
Д. Технология производства рычагов

Конструктивные разновидности рычагов показаны на фиг. 272. Рычаги имеют одно или несколько взаимосвязанных основных отверстий с параллельно или перпендикулярно расположенными осями; кроме того, у рычагов могут быть крепежные отверстия, шпоночные пазы, торцовые поверхности и другие элементы.

Технические условия изготовления рычагов характеризуются следующими требованиями: а) основные отверстия выполняются обычно по 2 или 3-му классу точности для скользящей или ходовой посадок; б) допустимые отклонения на расстояния между осями основных отверстий задаются в зависимости от условий работы рычага в пределах 0,1—0,2 *мм* или по допускам на свободные размеры; в) отклонение от параллельности или перпендикулярности осей основных отверстий допускается в пределах 0,05—0,25 *мм*, а в некоторых случаях до 0,01 *мм* на длине 100 *мм*; г) отклонение от перпендикулярности торцовых поверхностей головок к осям отверстий допускается в пределах 1—3 *мк* на 1 *мм* радиуса головки; д) отклонение от параллельности торцовых поверхностей головок основных отверстий — в пределах 0,5—2,5 *мк* на 1 *мм* диаметра головки; е) чистота поверхности основных отверстий — не ниже 6-го класса чистоты, а торцовых поверхностей головок обычно не выше 6-го класса чистоты по ГОСТу 2789-51.

Шпоночные пазы выполняются в интервале 3а—5-го класса точности и 4—6-го класса чистоты. Иногда рабочие участки рычагов подвергают химико-термической обработке с закалкой до твердости $R_C = 56$.

Материалы, применяемые для изготовления рычагов: углеродистая сталь, обычно марок 20 и 35, в исключительных случаях легированная сталь; ковкий чугун, иногда серый чугун.



Фиг. 272. Конструктивные разновидности рычагов

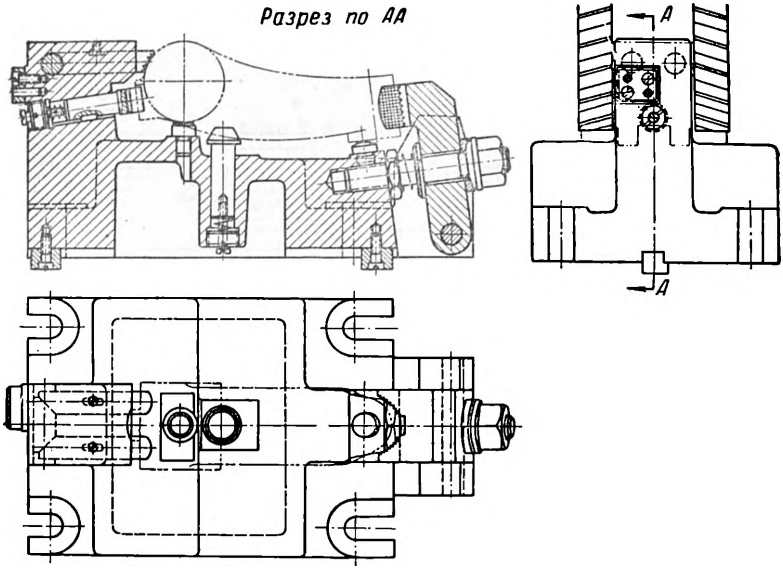
Виды заготовок — поковки, стальные и чугунные отливки. Штампованные заготовки целесообразно подвергать плоскостной чеканке, что исключает необходимость обработки резанием торцовых поверхностей головок или ограничивает эту обработку однократным шлифованием. Заготовки литых рычагов с одним основным отверстием выполняют для удобства обработки по парным моделям и обрабатывают до разрезки как рычаги с тремя основными отверстиями. Из тех же соображений штампованные заготовки для малогабаритных рычагов с одним основным отверстием целесообразно выполнять в парных ручьях штампов.

Специфические технологические задачи, возникающие при обработке рычагов, характеризуются в основном взаимным положением основных отверстий и перпендикулярностью торцовых поверхностей головок к осям основных отверстий.

Базирование заготовок зависит от точности их выполнения. В целях обеспечения правильного положения основных отверстий относительно наружного контура головок за первичную базу принимается этот контур с установкой в призмах и с опорой на торцовые поверхности головок, чеканка которых обусловливает вполне надежную базу. Если у черной заготовки положение торцовых поверхностей головок не выдерживается с достаточной точностью, то производится предварительная обработка их с базированием по элементам заготовки, относительно которых заданы расстояния торцовых поверхностей (обычно по элементам, связывающим головки основных отверстий).

Погрешность установки при базировании по наружному контуру головки в призме выражается в смещении оси отверстия относительно наружного контура. Для ее устранения следует применять самоцентрирующие призматические механизмы.

Пространственные отклонения возникают главным образом в результате конструктивной нежесткости рычагов и связанных с ней деформаций при их закреплении в процессе обработки. В связи



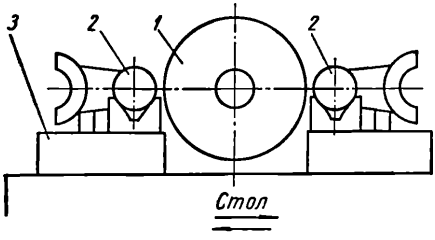
Фиг 273. Приспособление для параллельного фрезерования торцов головки у заготовки рычага.

с деформациями пространственные отклонения характеризуются в основном непараллельностью осей и неперпендикулярностью торцовых поверхностей головок к осям отверстий.

Технология обработки и применяемое оборудование. Как уже было сказано, торцовые поверхности головок целесообразно подвергать чеканке, что исключает или резко сокращает их последующую обработку. При необходимости торцовые поверхности каждой головки обрабатываются параллельно на горизонтально-фрезерном станке набором из двух фрез; при этом заготовка устанавливается в приспособление, ориентирующее торцовые поверхности относительно фрез посредством специальных устройств (ловителей), базирующих заготовку по телу вилки или по элементам, связывающим головки рычага. В качестве примера на фиг. 273 показано такое приспособление; в целях повышения производительности труда на столе станка могут быть установлены два таких приспособления и обработка производится так называемой

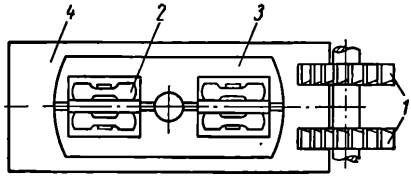
маятниковой подачей (фиг. 274) либо эти приспособления устанавливаются на поворотном столе (фиг. 275); как в том, так и в другом случае установка заготовки в приспособление производится в период обработки другой заготовки во втором приспособлении. Схема наладки горизонтально-фрезерного станка, показанная на фиг. 275, предусматривает, кроме того, возможность обработки с перекладыванием заготовок.

Обработку отверстий в заготовках для рычагов производят обычно на сверлильных станках в приспособлениях — кондукторах. Наи-



Фиг. 274. Схема обработки рычага маятниковой подачей на горизонтально-фрезерном станке:

1 — фреза; *2* — заготовки; *3* — приспособления.



Фиг. 275. Схема обработки торцовых поверхностей рычагов на горизонтально-фрезерном станке с поворотным столом:

1 — фрезы; *2* — заготовки, *3* — поворотный стол; *4* — стол станка.

больший эффект достигается применением агрегатных станков, обусловливающих возможность параллельной или параллельно-последовательной обработки всех отверстий с одного установа. В случае необходимости на этих же станках производится подрезка торцовых поверхностей головок комбинированным инструментом при автоматически уменьшающихся подачах.

При наличии в рычаге одного основного отверстия (вилки, переводки), такое отверстие после сверления или зенкерования целесообразно обрабатывать на протяжном станке.

Гребни, пазы и прорези могут быть обработаны на вертикально-протяжных или горизонтально-фрезерных станках. Шпоночные пазы обычно протягивают.

Технический контроль рычагов, помимо проверки диаметральных размеров отверстий и ширины головок, заключается в проверке расположения осей основных отверстий и перпендикулярности торцовых поверхностей головок к осям отверстий.

Параллельность осей отверстий проверяется индикатором при помощи контрольных валиков, один из которых устанавливается на контрольные призмы и служит базой при проверке.

Расстояние между осями отверстий контролируется микрометрической скобой посредством контрольных валиков, вставленных в отверстия.

Расположение осей отверстий под заданными углами проверяется в контрольном приспособлении, в котором рычаг устанавливается двумя основными отверстиями на два стержня, а положение третьего отверстия контролируется предельным шаблоном или индикатором по контрольному валику.

Перпендикулярность торцовых поверхностей головки оси отверстия проверяется предельным щупом посредством контрольного валика с буртом; соосность расположения осей отверстий в вилке — контрольным валиком; прямолинейность торцовых поверхностей — линейкой и щупом.

Е. Технология производства корпусов

Конструктивные разновидности корпусных деталей машин разнообразны. К корпусным деталям относятся корпуса цилиндрических, конических, червячных и комбинированных редукторов, коробки скоростей различных машин, блоки цилиндров двигателей внутреннего сгорания и т. д.

Технические условия изготовления корпусных деталей машин определяются их назначением обеспечивать заданное положение элементов механизма. Особенности деталей этого класса характеризуются наличием основных отверстий под опоры и плоских элементов, являющихся монтажными базами.

На диаметральные размеры основных отверстий задаются допуски в пределах 1—3-го класса точности. Погрешности геометрической формы отверстий не должны выходить за пределы 0,5—0,7 поля допуска. Допуски на межосевые расстояния основных отверстий и перпендикулярность осей отверстий задаются в соответствии с назначением корпусных деталей; для корпусов, в которых монтируются зубчатые и червячные передачи — в пределах от 0,04—0,06 до десятых долей миллиметра.

Отклонения от соосности отверстий назначаются в пределах половины допуска на диаметральный размер меньшего отверстия.

Обработка основных отверстий корпусных деталей выполняется по 6—8-му классу чистоты поверхности.

Неперпендикулярность торцовых поверхностей к осям отверстий допускается в пределах 0,1—1,0 *мк* на 1 *мм* радиуса. Чистота этих поверхностей задается по 5—6-му классу.

Отклонение от прямолинейности плоских поверхностей устанавливается в пределах 50—200 *мк* на 100 *мм* длины. Чистота плоских поверхностей разъема — не менее 5—7 класса чистоты.

Материалы, применяемые для изготовления корпусных деталей: серый чугун, литая сталь, алюминиевые сплавы для литых корпусов; низкоуглеродистая сталь для сварных корпусов.

Виды заготовок: отливки из серого чугуна по ГОСТу 1412-54, отливки из углеродистой стали по ГОСТу 977-58, отливки из алюминиевых сплавов по ГОСТу 2685-53, сварные конструкции.

Специфические технологические задачи, возникающие при обработке корпусных деталей, характеризуются тем, что должны быть обеспечены в установленных пределах отклонения: а) параллельность или перпендикулярность осей основных отверстий друг другу и плоским поверхностям; б) соосность отверстий для опор валов; в) заданные межосевые расстояния; г) правильность геометрической формы отверстий; д) перпендикулярность торцовых поверхностей осям отверстий; е) прямолинейность плоских поверхностей.

Базирование заготовок. Совмещение установочной, измерительной и сборочной баз при постоянстве выбранной базы в значительной степени облегчает решение сложных технологических задач, возникающих при обработке корпусных деталей. Для обработки базирующих поверхностей за первичную базу следует принимать черные основные отверстия детали, что обеспечит наиболее равномерное распределение припусков при последующей обработке отверстий.

В ряде случаев предусматриваются в качестве первичных баз специальные приливы и бобышки.

Погрешности установки. При совмещенных установочной и измерительной базах погрешность базирования не имеет места и погрешность установки определяется погрешностью закрепления. При переменных базах погрешность базирования определяется построением размерной цепи.

Пространственные отклонения как в литых заготовках, так и в сварных конструкциях характеризуются смещением и уводом осей основных отверстий, возникающими в процессе литья или сварки, а также деформациями заготовок. Пространственные отклонения заготовок, как известно, закономерно уменьшаются в процессе механической обработки, но остаются достаточно ощутимыми после черновых и получистовых операций. Вместе с тем в процессе механической обработки, особенно после черновых операций, возникают деформации в результате перераспределения внутренних напряжений, происходящего в связи с удалением верхних слоев металла.

Таким образом, пространственные отклонения в процессе механической обработки представляют собой совокупность остаточных пространственных отклонений черной заготовки и деформаций, возникающих в процессе обработки.

Эти пространственные отклонения нарушают равномерность удаляемого при обработке слоя металла, оказывая влияние на геометрическую форму обработанной поверхности и косвенное влияние на погрешность выдерживаемого размера (на величину Δy). Непосредственно влияют эти пространственные отклонения на величину припусков.

Определяя остаточные пространственные отклонения по формулам (52) или (52а), в зависимости от метода обработки, и учитывая деформацию заготовки в результате перераспределения внутренних

напряжений, принимаем для расчета припусков на обработку остаточные пространственные отклонения с коэффициентом 2.

Технология механической обработки и применяемое оборудование. В первую очередь обрабатывают базирующие поверхности корпуса и крепежные отверстия, которые могут быть использованы при последующей установке; затем обрабатывают все плоские поверхности и после них — основные отверстия. При этом для корпусов нежесткой конструкции применяют повторную (проверочную) обработку базовых поверхностей после черновой обработки всех плоских поверхностей и основных отверстий корпуса.

На основе расчета припусков устанавливают необходимость и целесообразность включения в технологический процесс получистовой обработки.

Однако, учитывая закономерность уменьшения погрешностей формы и пространственных отклонений, обычно производят черновую и чистовую обработку и ограничиваются однократной обработкой лишь для весьма жестких конструкций корпусов при точных методах выполнения заготовок.

Окончательная обработка — шлифование или тонкая обработка лезвийным инструментом — производится в том же порядке — сначала плоских поверхностей, а затем основных отверстий.

В зависимости от методов выполнения литых заготовок, их обработка производится по полной или частичной разметке, либо без разметки, в приспособлениях.

Сварные конструкции корпусов выполняются либо из деталей, не подвергавшихся обработке, либо из деталей, предварительно обработанных.

В первом случае корпуса проходят черновую, получистовую и чистовую обработку. При этом, в зависимости от объема производства и точности выполнения сварочных работ, обработка корпусов производится либо по разметке, либо в приспособлениях. Во втором случае элементарные поверхности корпусов подвергаются только чистовой обработке без разметки, так как сварка таких корпусов производится в приспособлениях, обеспечивающих достаточную точность взаимного положения их элементов. При этом установка крупногабаритных корпусов производится с выверкой по обработанным до сварки поверхностям, а обработка корпусов небольших габаритов производится в приспособлениях.

Плоские поверхности корпусов в серийном производстве обрабатывают на многосуппортных продольно-строгальных станках или на многошпиндельных продольно-фрезерных станках; в массовом производстве они обрабатываются на протяжных станках, на многошпиндельных фрезерных станках непрерывного действия с карусельными столами (типа 623В) или с барабанами (типа 6022). На двух последних типах станков применяют обычно параллельно-последовательный метод черновой и чистовой обработки.

В серийном производстве операции обработки плоских поверхностей корпусных деталей на продольно-фрезерных станках целесообразно строить по методу «перекладывания деталей». Он заключается в том, что каждая деталь станко-партии переустанавливается в приспособлениях последовательно в несколько положений с таким расчетом, чтобы сделать доступными для обработки плоские поверхности, расположенные с разных сторон (верх, низ, бока, торцы).

Такое построение операции позволяет лучше использовать фрезерные головки станка, длину хода и поверхность стола и позволяет снять при каждом рабочем ходе одну обработанную по всем плоским поверхностям деталь, устраняя тем самым необходимость в переналадке станка и пролеживание частично обработанных заготовок между операциями при партионной работе.

Наиболее целесообразна работа с перекладыванием деталей при обработке комплекта корпус-крышка для разъемных конструкций корпусных деталей. Продуманная схема групповой обработки с перекладыванием обеих деталей дает возможность снимать после каждого хода стола станка комплект, готовый для запуска в дальнейшую обработку.

В ряде случаев возможно составление наладок с перекладыванием деталей двух-трех различных наименований.

Плоские поверхности корпусов больших размеров обрабатывают на портально-фрезерных станках с порталом, несущим фрезерные головки и перемещающимся относительно установленной на неподвижной плите заготовки.

Базовые поверхности корпусных деталей небольших размеров обрабатывают на обдирочно-шлифовальных станках с вертикальной осью вращения.

Окончательная обработка плоских поверхностей корпусов производится: а) шлифованием на плоскошлифовальных станках, б) тонким строганием широким резцом, в) тонким фрезерованием, г) шабрением.

Обработку основных отверстий корпусов производят, в зависимости от заданного выпуска, на универсальных горизонтально-расточных станках или на агрегатных многошпиндельных станках, в ряде случаев объединяемых в автоматические станочные линии.

Диаметральные размеры отверстий получают обработкой соответствующим мерным инструментом (развертки, расточные блоки и расточные головки), установленным в нужном комплекте на расточных оправках или борштангах, а также односторонне расположенными резцами с точной микрометрической регулировкой на размер.

Точность межосевых расстояний, параллельность и перпендикулярность осей и другие требования к расположению отверстий обеспечиваются двумя методами: 1) обработкой отверстий с направлением

инструмента в кондукторе; 2) обработкой отверстий без направления инструмента, с использованием универсальных способов координации положения инструмента.

В массовом и крупносерийном производстве основные отверстия корпусных деталей обрабатывают на многошпиндельных станках при параллельных и параллельно-последовательных схемах построения операций, одновременно с двух или трех сторон заготовки. Требуемое положение отверстий обеспечивается соответственно расположенными в агрегатных головках шпинделями, каждый из которых соединяется с расточной скалкой, направляемой кондукторными втулками установочного приспособления. При обработке на агрегатных станках целесообразно разделять черновую и чистовую обработку на две операции, выполняемые на двух агрегатных станках автоматической линии или на два перехода, выполняемые на двух рабочих позициях агрегатного станка поточной линии. Иногда в крупносерийном производстве условия загрузки станков требуют создания наладок, позволяющих при незначительных затратах времени на переналадку выполнять обе операции на одном станке.

Основные отверстия корпусов небольших габаритных размеров могут быть обработаны на вертикально-сверлильных станках с применением кондукторов и многошпиндельных головок и на радиально-сверлильных станках с применением поворотных кондукторов.

В серийном производстве основные отверстия в корпусных деталях обрабатываются на универсальных горизонтально-расточных станках с направлением инструмента по кондуктору. Отверстия обрабатываются одним шпинделем, последовательно соединенным с расточными скалками, каждая из которых оснащена инструментом для обработки отверстий на своей оси. Межосевые расстояния и параллельность осей обеспечиваются перемещением стола и направлением расточной скалки по кондуктору. Перпендикулярность осей отверстий получается за счет поворота стола станка.

В целях повышения производительности труда при работе на расточных станках применяют многошпиндельные расточные головки для одновременной обработки нескольких отверстий с параллельными осями. Эта головка получает вращение от шпинделя станка, а ее шпиндели, расположенные соответственно растачиваемым отверстиям, передают крутящие моменты расточным скалкам.

Во всех случаях обработки с направлением инструмента по кондукторным втулкам на агрегатных станках и на универсальных расточных станках обрабатываемые корпуса устанавливаются в кондукторе на установочные пальцы по двум специально обработанным для этого, расположенным на плоской поверхности основания, базовым отверстиям.

Без направления инструмента обрабатываются отверстия в мелкосерийном и единичном производстве корпусных деталей, когда применять расточной кондуктор нецелесообразно. В этом случае заготовки поступают на расточную операцию после операции разметки.

При установке заготовки на столе горизонтально-расточного станка при обработке отверстий выполняется следующее:

1) установка и выверка корпуса на столе станка, при которой оси размеченных отверстий будут параллельны оси шпинделя;

2) совмещение оси шпинделя с осью первого растачиваемого отверстия;

3) обработка отверстий на первой оси;

4) перемещение стола с обрабатываемой деталью на заданное межосевое расстояние до оси второго растачиваемого отверстия;

5) обработка отверстий на второй оси и т. д.

Перпендикулярность осей растачиваемых отверстий обеспечивается поворотом стола станка с закрепленной на нем заготовкой.

Установка шпинделя для обработки отверстий, расположенных на другой высоте, производится перемещением шпиндельной коробки по колонне станка. Точность отсчета перемещений стола станка или его шпиндельной коробки зависит от заданного допуска на межосевые расстояния.

Допуск 0,1—0,2 *мм* обеспечивается при отсчете перемещений по шкалам станка; для выдерживания более жестких допусков в цепь отсчета перемещений в направлении осей координат включаются более точные приборы, обычно индикаторы.

В тяжелом машиностроении применяются, кроме расточных станков с подвижным столом, расточные станки с неподвижным столом, у которых все необходимые рабочие движения совершает шпиндельная колонка.

Обработка наиболее тяжелых корпусов, выполняемая на станках с неподвижным столом, сопряжена с весьма большими затратами времени, особенно вспомогательного времени, которое в неблагоприятных случаях составляет 60—80% от штучного времени. Работа на этих станках осложняется необходимостью при переходе к следующей растачиваемой оси перемещать шпиндельную колонку, заднюю люнетную стойку и борштангу в положение новой оси, выдерживая при этом высокую точность перемещений.

После каждого перемещения борштанга должна быть выверена на соосность со шпинделем, на размер межосевого расстояния и параллельность своему прежнему положению. Перпендикулярность осей отверстий обеспечивается переустановкой корпуса и новой его выверкой относительно оси шпинделя.

Расточные операции, выполняемые на этих станках, обычно не разделяются на предварительные и чистовые и выполняются при одной установке; только после выполнения всех переходов и по достижении заданных размеров и чистоты поверхностей отверстий переходят к обработке отверстий на следующей оси.

В целях экономии времени желательно применение не требующей второй опоры короткой расточной оправки вместо длинной борштанги, требующей длительной выверки при установке в подшипнике задней люнетной стойки.

Работа расточной оправкой возможна при соотношении ее длины l и диаметра d в пределах $l \leqslant 5 \div 6d$.

Измерение растачиваемых отверстий производят без вывода борштанги из отверстия, пользуясь при этом инструментами, устанавливаемыми на борштанге или позволяющими обойти ее.

Основные отверстия крупногабаритных корпусов, изготовляемых хотя бы небольшими сериями, можно обрабатывать посредством переносных расточных головок, устанавливаемых рядом с обрабатываемым корпусом, на том же плитном настиле для параллельной обработки нескольких отверстий; в этом случае получаем как бы агрегатный станок, значительно сокращающий трудоемкость процесса обработки. Борштанги получают направление во втулках универсальных стоек, установленных на плитном настиле и образующих как бы сборный расточной кондуктор.

Обработка крепежных и других отверстий в корпусных деталях производится в зависимости от заданного выпуска на агрегатных многошпиндельных станках автоматических или поточных линий, на многошпиндельных сверлильных станках или на вертикально-сверлильных станках с применением многошпиндельных головок, либо на радиально-сверлильных станках в поворотных кондукторах или с применением накладных кондукторов.

Особенности технического контроля корпусов заключаются в проверке: а) прямолинейности и взаимного положения плоских поверхностей, образующих сборочные базы корпуса; б) правильности геометрических форм основных отверстий; в) соосности отверстий; г) параллельности осей основных отверстий сборочным базам; д) взаимной параллельности осей основных отверстий и расстояний между ними; е) взаимной перпендикулярности осей отверстий при наличии в корпусе отверстий с перпендикулярными осями; ж) перпендикулярности торцовых поверхностей к осям отверстий.

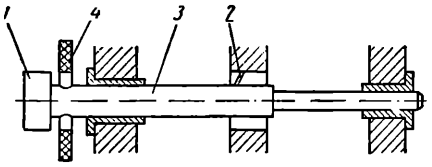
Прямолинейность плоских поверхностей проверяется обычно эталонными линейками. Проверка взаимного положения плоских поверхностей, образующих сборочную базу корпуса, осуществляется специальными плитами на краску (8—12 пятен на квадрате 25 × × 25 *мм*) или щупом.

Контроль правильности геометрической формы основного отверстия производится штихмасом с индикатором или пассиметром либо пневматическим ротаметром со специальной калибровой пробкой к нему.

Соосность отверстий проверяется обычно контрольными оправками, вставляемыми непосредственно в проверяемые отверстия или во втулки, если проверяются отверстия больших диаметров. На фиг. 276 показана схема проверки трех соосно расположенных отверстий; отклонение от соосности среднего отверстия определяется индикатором *1*, связанным штоком и системой рычагов со щупом *2*, при повороте контрольной оправки *3* посредством рукоятки *4*. Для

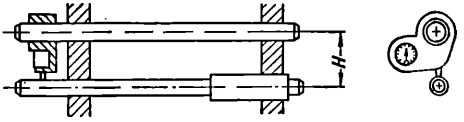
крупногабаритных корпусов применяются оптические методы контроля.

Параллельность осей основных отверстий сборочным базам и выдерживаемый размер от оси до базы контролируют промером



Фиг. 276. Схема проверки соосности отверстий:

1 — индикатор; *2* — щуп, связанный с индикатором; *3* — контрольная оправка; *4* — рукоятка для поворота контрольной оправки.

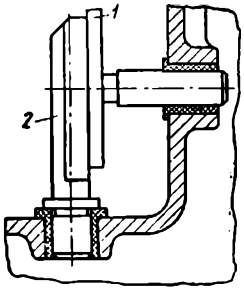


Фиг. 277 Схема проверки параллельности осей отверстий и расстояния между ними.

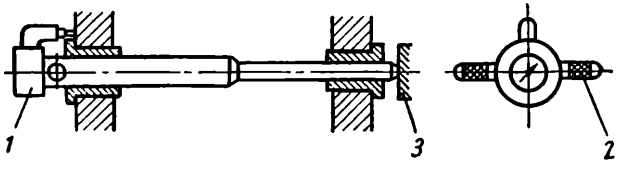
расстояний от оси отверстий у концов корпуса до базовой плоской поверхности.

Взаимная параллельность осей основных отверстий и расстояние *H* между ними проверяют посредством контрольных скалок и индикаторного прибора (фиг. 277).

Перпендикулярность осей отверстий может быть проверена, например по схеме, показанной на фиг. 278. Диск *1* вставляется



Фиг. 278. Схема проверки перпендикулярности осей отверстий.



Фиг. 279. Схема проверки перпендикулярности торцовой поверхности к оси отверстия:

1 — индикатор; *2*—рукоятка для поворота оправки; *3* — упор.

своим калиброванным хвостовиком в одно из отверстий; в другое отверстие вставляется линейка *2*; по величине зазора между диском и линейкой у одного из ее концов судят об отклонении от перпендикулярности. По этой же схеме может быть применено и приспособление с двумя индикаторами на линейке.

Перпендикулярность торцовых поверхностей к осям отверстий проверяется посредством индикаторного приспособления, путем поворота оправки, введенной в отверстия и не имеющей возможности перемещаться в осевом направлении (фиг. 279).

§ 2. ТЕХНОЛОГИЯ СБОРКИ ТИПОВЫХ УЗЛОВ МАШИН

Сборка узлов с подшипниками скольжения: запрессовка подшипниковых втулок в корпус, контроль запрессовки и последующая обработка втулок; установка вкладышей в гнезда корпуса и крышки, укладка вала в подшипники, пригоночные работы, затяжка подшипников; особенности сборки тонкостенных вкладышей; контроль сборки подшипников скольжения.

Сборка узлов с подшипниками качения: посадка подшипников на вал; контроль радиального и осевого зазоров, плотности прилегания к буртам и заплечикам. Запрессовка подшипника в отверстие корпуса; монтаж конических роликовых подшипников; особенности сборки игольчатых подшипников.

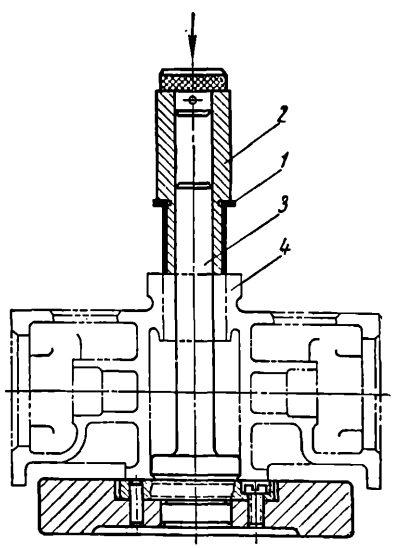
Сборка плоскостных соединений.

Сборка зубчатых и червячных передач: посадка зубчатых колес на валы; установка валов с колесами в корпусе; регулирование зацепления конических передач; сборка червячных передач; испытание зубчатых и червячных передач.

Сборка узлов с подшипниками скольжения

Подшипниковые втулки. Установка втулки в корпус производится запрессовкой в холодном состоянии, с нагревом корпуса или с охлаждением втулки.

Во избежание перекосов, задиров и неравномерной деформации при запрессовке, втулки должны быть точно центрированы относительно отверстий в корпусе. Это достигается применением специальных приспособлений для запрессовки втулок. На фиг. 280 показано одно из таких приспособлений. Втулку *1* сажают на шлифованную часть оправки *2*; оправка *2* центрируется стержнем *3*, проходящим через отверстие корпуса *4*, в который запрессовывают втулку. Такое устройство хорошо обеспечивает правильную посадку втулки в отверстие корпуса.



Фиг. 280. Приспособление для запрессовки втулки в корпус.

При посадке втулки с нагревом охватывающей детали или с охлаждением самой втулки соединение должно быть осуществлено по возможности быстро, так как в процессе соединения размеры деталей и особенно втулки изменяются в результате температурных деформаций, что затрудняет посадку втулки.

Как известно из теории смазки, наиболее благоприятные условия работы сопряженной пары (посадочной шейки и втулки) получаем при тонком и равномерно распределенном масляном слое в подшипнике. Эти условия обеспечиваются тщательной обработкой посадоч-

ной шейки и втулки и правильной посадкой последней в корпусе. Деформации втулки в результате запрессовки, в частности эллиптичность, конусность и другие отклонения геометрической формы отверстия втулки, а также перекос оси втулки при запрессовке или местные повреждения трущихся поверхностей втулки и вала нарушают равномерность масляного слоя, приводят к местному сухому трению и, следовательно, к ускоренному износу элементов сопряженной пары. Поэтому перед запрессовкой и после запрессовки втулки подвергаются тщательному контролю. Перед запрессовокой тщательно просматривают наружную и внутреннюю поверхности втулки и, в зависимости от характера и величины обнаруженных местных повреждений, или устраняют их, или бракуют втулку. После запрессовки правильность геометрической формы отверстия втулки проверяется индикаторным нутромером по двум взаимно-перпендикулярным направлениям и по меньшей мере в трех сечениях по длине втулки.

Правильно посаженные в корпус втулки закрепляют от проворачивания указанным в чертеже способом. При закреплении стопором по цилиндрической поверхности втулки отверстие в корпусе может быть просверлено в процессе его обработки, а отверстие во втулке — только после ее запрессовки. При закреплении штифтом или винтом отверстия во фланце втулки и в корпусе сверлятся одновременно после запрессовки и проверки правильности посадки втулки. При закреплении штифтом его загоняют в отверстие с натягом, расклепывают с торца и зачищают заподлицо. При закреплении винтом резьба во избежание самоотвинчивания должна быть тугой, а головка винта должна быть утоплена относительно торца на 0,2—0,3 *мм*.

После закрепления окончательно обрабатывают отверстие втулки в посадочный размер. Эту обработку производят развертыванием, тонким растачиванием, протягиванием или калиброванием шариком или пуансоном. После окончательной обработки производят зачистку острых кромок шабером.

Соосность отверстий втулок, запрессованных в разные стенки, проверяется так же, как и соосность отверстий в корпусах.

Толстостенные вкладыши подшипников скольжения характеризуются отношением

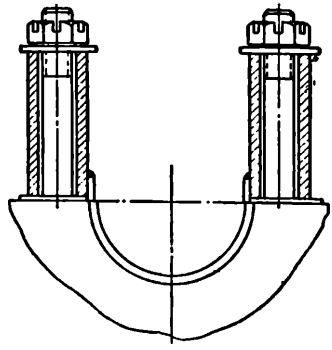
$$K = \frac{S}{D} = 0{,}065 \div 0{,}095,$$

где S — толщина стенки вкладыша без заливки;

D — наружный диаметр вкладыша.

Установка вкладышей в корпус и в крышку производится либо с небольшим натягом, порядка 20—60 *мк*, либо по скользящей посадке. Во избежание повреждений вкладышей при посадке их в гнезда на обе поверхности разъема накладывают деревянные или металлические пластины, по которым наносят легкие удары молотком.

Нормальная работа вкладышей подшипника обеспечивается при равномерном прилегании его наружной поверхности к поверхности гнезда по всей площади контакта; в противном случае под нагрузкой вкладыш будет периодически деформироваться, что может повести к разрушению залитого на внутреннюю поверхность вкладыша антифрикционного слоя. В случае неприлегания ухудшаются также условия теплоотдачи от вкладыша к корпусу. Поэтому производят тщательный подбор вкладышей подшипников к гнездам корпусов, прибегая в некоторых случаях к частичному пришабриванию гнезда. Аналогично подбирают крышки подшипников; они должны надеваться на шпильки свободно, но без качки, лучше — под легкими ударами деревянного молотка, наносимыми центрально во избежание перекоса крышки. При сборке подшипников стыки крышек с корпусом и стыки вкладышей должны прилегать плотно, без зазоров. Если между крышкой и корпусом предусмотрены регулировочные прокладки, то необходимо проследить, чтобы они были гладкими и чистыми.



Фиг 281 Закрепление вкладышей прижимами

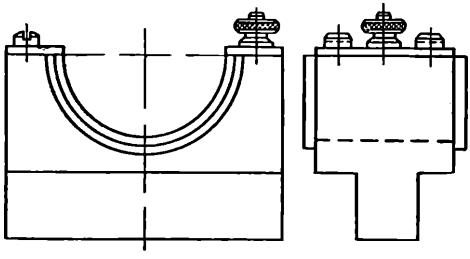
Соосность подшипников под многоопорные валы проверяется контрольными оправками и другими аналогичными методами. При сборке крупногабаритных корпусов для проверки соосности отверстий пользуются струной и штихмасом или оптическим методом, проверяя соосность посредством коллиматора и телескопа.

На корпусе, вкладышах и крышках ставят клеймо, обеспечивающее соединение подобранных элементов при дальнейших работах.

Укладку вала в подшипники начинают с проверки прилегания шеек вала сначала к нижним вкладышам, а затем к верхним. Нижние вкладыши устанавливают в корпус и закрепляют прижимами (фиг. 281). На шейки вала наносят легкий слой краски. Вал укладывают так, чтобы он одновременно коснулся подшипников всеми шейками. Валы значительного веса укладывают посредством подъемника, к которому подвешивают вал в горизонтальном положении, выверяя его по уровню. Уложенный в подшипники вал проворачивают вручную на два-три оборота, затем поднимают его и проверяют расположение отпечатков краски на поверхностях вкладышей. Равномерное распределение следов краски на всех вкладышах указывает на хорошее прилегание к ним шеек вала. После этого протирают вкладыши, снова укладывают вал со смазанными краской шейками, снимают прижимы и устанавливают крышки подшипников с верхними вкладышами, проверяя по клеймам соединяемые элементы. При наличии прокладок их располагают так, чтобы более толстые

прокладки прилегали к корпусу, а тонкие к крышке (толщина прокладок в комплекте обычно 0,1—0,8 *мм*); такое расположение прокладок обеспечивает более быстрое регулирование масляного слоя при сборке и перетяжке подшипников.

После установки крышек производится последовательная затяжка гаек на каждом подшипнике от середины к концам вала; при этом после затяжки гаек каждого подшипника проворачивают вал рычагом на два-три оборота при ослабленных гайках других подшипников. Затем крышки снимают и проверяют прилегание шеек к верхним вкладышам по отпечаткам на них краски.



Фиг 282. Приспособление для крепления вкладыша подшипника при шабрении.

Пригонка вкладышей подшипников производится шабрением в приспособлении (фиг. 282), пока не менее 80% поверхности вкладыша будет занято равномерно распределенными отпечатками краски; при 18 — 20 пятнах на квадрате 25 × 25 *мм* пригонку считают удовлетворительной.

После окончания пригонки шейки вала и вкладыши промывают, отверстия для подвода смазки прочищают ершом, смоченным в масле, обдувают сопрягаемые элементы сжатым воздухом, наносят на них смазку кистями и окончательно укладывают вал с затяжкой и шплинтовкой всех гаек; при этом затяжку производят попарно от средних подшипников к крайним, руководствуясь правилами затяжки гаек (см. фиг. 149).

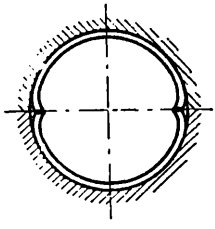
Тонкостенные вкладыши ($K = \frac{S}{D} = 0{,}025 \div 0{,}045$) выполняются взаимозаменяемыми; посадочные гнезда под них обрабатываются с повышенной точностью: конусность 10—15 *мк* на длине 100 *мм*, овальность не более 15—20 *мк*. Поэтому пригонки вкладышей к гнездам не производят и ограничиваются лишь подбором вкладышей, проверяя их прилегание к гнездам по краске.

Особенностью сборки тонкостенных вкладышей является натяг, создающийся при их посадке в гнезда; при этом края вкладыша, прижатого к поверхности гнезда, выступают над плоскостью стыка на величину Δh, определяемую по формуле

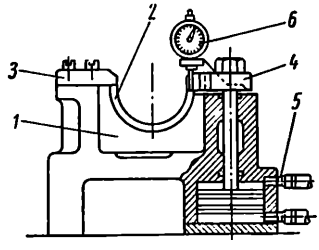
$$\Delta h = \frac{\pi (d_в - d_к)}{2 \cdot 2} = \frac{\pi i}{4}, \qquad (181)$$

где $d_к$ — диаметр отверстия в корпусе;
$d_в$ — наружный диаметр вкладыша;
i — натяг посадки вкладыша в корпус.

Обычно края вкладыша выступают над плоскостью стыка на 50—100 *мк*. Выступающие края создают при затяжке гаек прессовую посадку вкладыша в гнезде. В этих условиях контроль высоты тонкостенных вкладышей приобретает особое значение. Недостаточная высота не обеспечит необходимого натяга и плотного прилегания вкладыша к поверхности гнезда, что поведет к ухудшению теплоотдачи от вкладыша к корпусу и создаст неблагоприятные условия для работы антифрикционного слоя. В результате излишне большой высоты выступающих краев вкладышей произойдет их деформация



Фиг 283. Деформация краев вкладышей в результате их преувеличенной высоты.



Фиг 284. Приспособление для контроля высоты тонкостенных вкладышей

(фиг. 283)и увеличится удельное давление на поверхности вкладыша, что приведет к его перегреву и расплавлению антифрикционного слоя.

Контроль высоты тонкостенных вкладышей производится в специальном приспособлении (фиг. 284) со сменным гнездом *1*, в которое устанавливают измеряемый вкладыш *2*; один конец вкладыша упирается в планку *3*, а другой его конец прижимается планкой *4* пневматического зажима *5* с силой, равной по величине силе, возникающей при затяжке гаек подшипника; замер производится индикатором *6*, установленным на корпусе приспособления; индикатор настраивается по эталону.

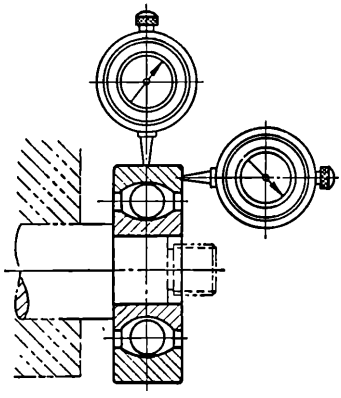
Контроль смонтированного в подшипниках скольжения вала производится путем поворачивания его вручную рычагом определенной длины. При тугом вращении вала определяют путем последовательного ослабления крепящих крышки гаек, какой подшипник затрудняет вращение вала и вводят в него дополнительную регулировочную прокладку. Регулирование путем ослабления затяжки гаек не допускается. Величина радиального зазора может быть определена провертыванием вала с калиброванной латунной пластинкой между шейкой вала и верхним вкладышем.

Осевые зазоры проверяют щупом или индикатором при предельных смещениях вала. Обычно величина осевых зазоров находится в пределах 0,1—0,8 *мм*.

Сборка узлов с подшипниками качения

При посадке подшипника на вал с натягом тщательно промытый подшипник нагревают в масляной ванне и сажают на вал. При нагреве стремятся получить увеличение диаметра внутреннего кольца на величину, равную натягу; температуру нагрева определяют по формуле (106).

Обычно температура нагрева подшипника находится в пределах 60—100°; продолжительность нагрева 15—20 мин. Для нагрева пользуются масляными ваннами, обычно с электрическими нагревателями; контроль температуры осуществляется термометром или термопарой; нужная температура ванны может поддерживаться автоматически.



Фиг 285. Установка для проверки радиального и осевого зазора у напрессованного на вал подшипника

Во избежание перекоса колец, повреждения дорожек качения и шариков при посадке шарикового подшипника на вал пользуются оправками, доводя подшипник до места легкими ударами молотка по оправке с упором во внутреннее кольцо. Широко применяются также различные приспособления для напрессовки подшипников на валы.

Качество посадки подшипника на вал проверяется на проворачиваемость вручную; при этом должен быть ровный ход, без заеданий; проверкой вручную на качку устанавливается наличие радиального и осевого зазоров. При необходимости проверку зазоров можно производить на установке, снабженной индикаторами (фиг. 285). При наличии у вала буртов или заплечиков проверяется плотность прилегания к ним торца кольца щупом; иногда допускают зазор до 50 *мк* на дуге, не превышающей 0,4 длины окружности вала.

Запрессовку подшипника в отверстие корпуса производят аналогично напрессовке подшипника на вал; при этом нагревают не подшипник, а охватывающую деталь и пользуются оправкой, опирающейся на наружное кольцо подшипника; в тех случаях, когда нагревание охватывающей детали представляет неудобства, например при установке подшипников в крупногабаритный корпус, прибегают к охлаждению подшипников.

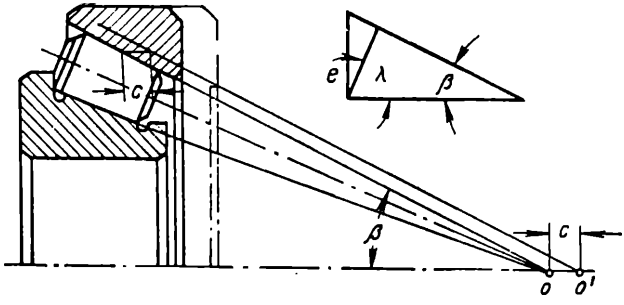
Монтаж конических роликовых подшипников производят раздельно; при этом внутреннее кольцо с роликами и сепаратором напрессовывают на вал, а наружное кольцо устанавливают в корпус. Регулирование радиального зазора в таком подшипнике достигается путем осевого смещения наружного кольца на величину *c* (фиг. 286);

существуют следующие зависимости между радиальным зазором e, зазором по линии давления λ и осевым перемещением кольца c:

$$e = c \operatorname{tg} \beta;$$

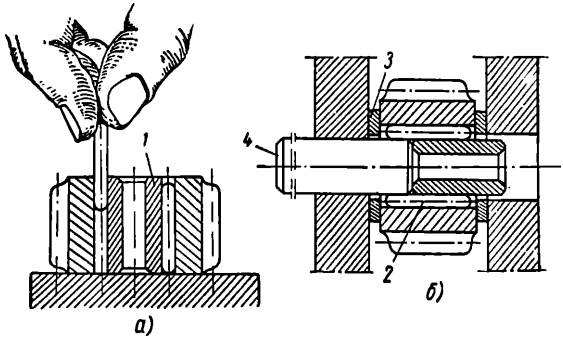
$$\lambda = c \sin \beta.$$

Практически регулирование зазора осуществляется посредством прокладок, регулировочного винта или регулировочной гайки.



Фиг 286. Схема регулирования радиального зазора конического роликоподшипника.

Демонтаж подшипников качения производится под прессом или специальными съемниками [1]



Фиг 287. Сборка игольчатого подшипника посредством ложного валика:

а — закладка игл; *б* — установка валика.

Некоторую особенность представляет монтаж игольчатого подшипника, у которого рабочими поверхностями являются поверхность вала и внутренняя поверхность сопряженной с ним детали. Иглы в беговом зазоре располагаются во избежание их перекоса

[1] Конструкции съемников рассматриваются в курсе «Основы конструирования приспособлений»; см. также [110]

так плотно, чтобы суммарный зазор по начальной окружности составлял 1,5—2,0 *мм*. Радиальный зазор в игольчатых подшипниках примерно такой же, как в подшипниках скольжения того же диаметра; в частности, для диаметральных размеров поверхности качения по валу от 25 до 100 *мм*, радиальные зазоры находятся в пределах 20—130 *мк*. Торцовый зазор между иглами и ограничительными кольцами обычно 0,1—0,2 *мм*.

Закладку игл в отверстие охватывающей детали (фиг. 287) производят с помощью ложного валика, диаметр которого меньше действительного вала на 0,1—0,2 *мм*. Поверхности отверстия и ложного валика покрываются тонким слоем солидола, удерживающего иглы при сборке. Иглы *2* закладывают последовательно по 2—3 шт.; последняя игла должна входить в подшипник свободно. Затем ставят ограничительные кольца *3* и вводят рабочий вал *4*, которым вытесняют ложный валик. Собранный узел проверяют на вращение, которое должно быть свободным, без заеданий.

Сборка плоскостных сопряжений

Взаимное положение деталей, сопрягаемых по плоским поверхностям, определяется обычно конструктивными элементами соединяемых деталей: центрирующими буртами, направляющими плоскостями, шпонками и т. п. В ряде случаев, однако, взаимное положение рабочих поверхностей устанавливаемой и базовой детали не может быть обеспечено с необходимой точностью технологией обработки; в частности, например при координации рабочих поверхностей устанавливаемой детали по двум взаимно-перпендикулярным плоским поверхностям. В этих случаях сборка производится с выверкой устанавливаемой детали относительно базовой детали.

В большинстве случаев выверку можно осуществить за счет зазоров между крепежными отверстиями и болтами, винтами или шпильками; при этом окончательную затяжку гаек производят после выверки, а затем сверлят и развертывают отверстия под установочные (контрольные) штифты, которыми фиксируют выверенное положение детали. Обычно ставят два штифта; при наличии центрирующего бурта ограничиваются одним штифтом. В сопряжениях, подвергающихся частой разборке, применяют две посадки штифтов: неподвижную с базовой и подвижную с устанавливаемой деталью.

Возможность регулирования положения устанавливаемой детали, т. е. ее смещения относительно базовой детали, ограничивается зазором между стержнем болта, винта или шпильки и отверстием, а при креплении несколькими болтами или винтами эта возможность уменьшается за счет допуска на межосевые расстояния крепежных элементов. Поэтому при сборке с выверкой устанавливаемой детали пользуются одним или двумя отверстиями, а остальные сверлят в базовой детали после выверки, пользуясь отверстиями в устанавливаемой детали для направления инструмента.

Плотность стыков, образуемых плоскими поверхностями соединяемых деталей, достигается прокладками. Обычно применяют эластичные прокладки из однородного материала (бумага, картон, асбест, резина и т. п.) или комбинированные (металлические с асбестовым сердечником, из прорезиненного асбеста и др.). Неравномерность толщины прокладки допускается не более 0,15 *мм* на всей ее длине. Вместо прокладок применяют иногда специальные пасты и мастики.

Плотность стыков может быть достигнута и без прокладок путем тщательной обработки сопрягаемых поверхностей, обеспечивающей отклонение от плоскостности в пределах 40—80 *мк* и чистоту сбработки по 6—7-му классу чистоты. В этом случае целесообразно применять специальную пасту [1], которая наносится кистью ровным тонким слоем на очищенную и протертую растворителем поверхность. Этот слой должен подсохнуть на воздухе в течение 10—15 мин. перед соединением собираемых деталей.

При креплении соединяемых деталей (крышек, фланцев и т. п.) плотность соединения достигается равномерной затяжкой гаек, выполняемой в определенной последовательности (см. фиг. 149 и 150).

Сборка зубчатых и червячных передач

Сборка зубчатых передач включает: 1) посадку зубчатых колес на валы, 2) установку валов с колесами в корпус, 3) регулирование зацепления зубчатых колес.

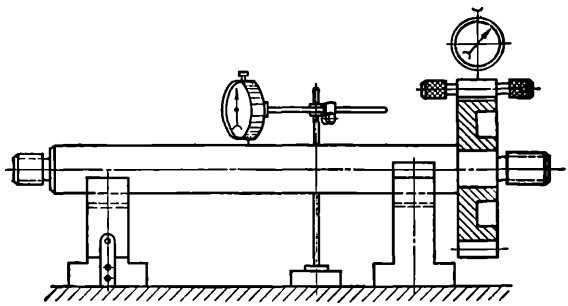
Посадка зубчатых колес на валы производится обычно с небольшим натягом, а иногда даже с зазором, так как при большом натяге искажается зубчатый профиль колеса, что неблагоприятно отражается на работе зацепления. В частности, посадка зубчатых колес в двигателях внутреннего сгорания производится с натягом 23—35 *мк* или с зазором 9—25 *мк*.

Посаженное на вал колесо не должно иметь качки, должно плотно прилегать к упорному буртику, а радиальное и осевое биение колеса не должно выходить за пределы установленных допусков. Проверку колеса на качку производят легким обстукиванием напрессованного колеса молотком; при этом, во избежание повреждений колеса, молоток должен быть «мягким», т. е. иметь незначительную сравнительно с колесами твердость. Плотность прилегания к упорному буртику проверяется щупом.

Контроль радиального и осевого биения производится на индикаторных контрольных приспособлениях. Проверку радиального биения производят на призмах с базированием по шейкам вала (фиг. 288); высота одной из призм (обычно левой) регулируется, что позволяет установить вал параллельно плоскости плиты приспособления; между зубьями колеса закладывают цилиндрический калибр

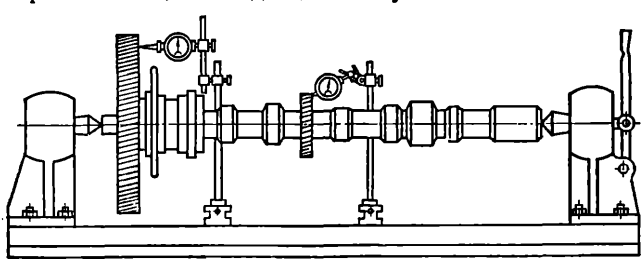
[1] Состав пасты по весу: 54% денатурированного спирта, 36% шеллака 6% графита, 3% касторового масла, 1% охры.

и замечают положение стрелки индикатора; поворачивая вал и перекладывая калибр через два зуба, определяют разницу в показаниях индикатора, которая характеризует радиальное биение начальной окружности колеса; обычно это биение допускается в пределах 25—



Фиг. 288. Схема проверки радиального биения зубчатого колеса, посаженного на вал.

75 *мк*. Проверку торцового биения удобнее производить на центрах (фиг. 289); торцовое биение обычно допускается в пределах 0,10—0,15 *мм*. При биении, выходящем за установленные техническими



Фиг. 289. Схема проверки торцового биения зубчатых колес, посаженных на вал.

условиями пределы, колесо снимают с вала и запрессовывают вновь, повернув его на некоторый угол.

Контроль качества посадки колеса на вал можно производить на индикаторном приспособлении с эталонным колесом, аналогично тому, как производится проверка точности изготовления зубчатого колеса; при этом вал устанавливается шейкой во втулке и концом на центр приспособления.

При сборке зубчатого колеса фланцевого типа с валом его предварительно соединяют тремя временными болтами меньшего сравнительно с нормальными крепежными болтами диаметра. Затем колесо проверяют на биение и после выверки затягивают временные болты, развертывают совместно в колесе и фланце вала остальные отверстия

по накладному кондуктору, закладывают в них крепежные болты и затягивают гайки. После этого снимают временные болты, обрабатывают освободившиеся отверстия разверткой и ставят в них крепежные болты.

Затяжку гаек обычно производят динамометрическим ключом, с тем чтобы создать на сопряженных поверхностях силу трения, момент которой должен быть больше крутящего момента, передаваемого валом через зубчатое колесо. Окончательно собранное колесо с валом следует еще раз проверить на биение.

При установке валов с зубчатыми колесами в корпус обычно зацепление удовлетворяет техническим требованиям, если все элементы собираемого узла выполнены в пределах установленных допусков. Однако и при этом условии могут возникнуть дефекты зацепления в результате неблагоприятного сочетания отклонений, каждое из которых находится в пределах допуска. Наиболее типичными дефектами зацепления являются: а) преувеличенный зазор между зубьями по всему венцу в результате наибольшего отклонения в плюс расстояния между осями зубчатых колес и наибольшего отклонения в минус толщины зубьев; б) недостаточный зазор между зубьями по всему венцу при наименьшем предельном расстоянии между осями и наибольшей предельной толщине зубьев; в) неравномерный зазор между зубьями как результат эксцентричности начальной окружности зубьев относительно оси вращения и неравномерной толщины зубьев одного из колес; г) биение по торцу зуба при зацеплении зубчатого колеса в результате перекоса оси отверстия колеса и оси гнезда корпуса.

Эти дефекты могут быть ликвидированы подбором колес, сменой одного из колес, сменой втулки в колесе, сменой и расточкой в линию втулки или подшипника в корпусе и аналогичными мероприятиями.

При сборке зубчатых передач с колесами большого модуля зазор можно измерять прокатыванием между зубьями свинцовых проволочек с последующим промером толщин сплющенных проволок микрометром.

Можно также измерить боковой зазор передачи индикатором путем измерения угла поворота одного из зубчатых колес при застопоренном другом колесе. Применяют, кроме того, специальные приспособления для измерения зазоров.

Качество зацепления зубчатых колес проверяют также на краску в соответствии с нормами на контакт парных колес, установленными действующими стандартами. Этими нормами предусмотрено, что при вращении меньшего колеса, покрытого тонким слоем лазури, на парном колесе пятна краски должны покрыть среднюю часть боковой поверхности зубьев.

При проверке конических зубчатых колес на краску пятно контакта должно располагаться при провертывании без нагрузки ближе к тонкому концу зуба, не доходя до его края по длине на 1,5—3 *мм* и по высоте на 0,4—1 *мм*. В связи с деформацией тонкого конца

зуба, пятно контакта при работе под нагрузкой распространяется в направлении к толстому концу зуба, что обусловливает более благоприятное прилегание рабочих поверхностей зубьев. Нормы на контакт зубьев конических колес несколько ниже сравнительно с цилиндрическими колесами.

При сборке конических зубчатых передач требуемый зазор между зубьями достигается путем регулирования зацепления, т. е. путем перемещения колес в осевых направлениях; при этом перемещают либо оба колеса, либо одно из них. Регулирование осуществляют набором регулировочных прокладок или перемещением втулок посредством специальных регулировочных гаек.

Для регулирования применяют стальные или латунные прокладки толщиной 0,05—1,5 *мм*; при этом набор прокладок устанавливают под опорные плоскости колес или промежуточных колец, на которые они опираются.

Регулирование гаек осуществляется их вращением; при этом одну из гаек затягивают, а другую отпускают, в результате чего втулка перемещает вал с колесом в осевом направлении, приближая или удаляя его от сопрягаемого с ним колеса. При достижении требуемого зазора узел фиксируется теми же гайками в установленном положении. Как известно, зазор C и величина осевого перемещения колеса x при угле зацепления α и угле начального конуса φ связаны зависимостью

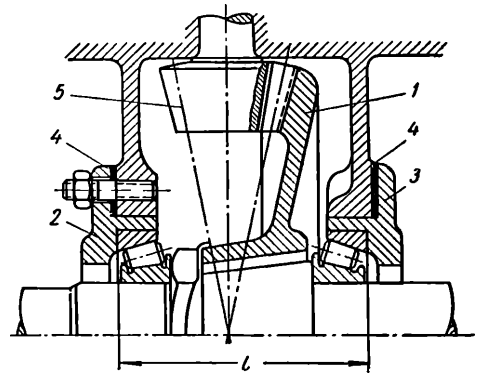
$$C = x2 \sin\alpha \sin\varphi.$$

В целях упрощения регулирования зацепления одно из зубчатых колес предварительно устанавливают по координате, заданной чертежом, и закрепляют его в этом положении, а регулирование зазора производят осевым перемещением другого колеса.

В тех случаях, когда осевое перемещение колеса связано с изменением взаимного положения других элементов, которое не должно нарушаться, регулирование должно производиться так, чтобы взаимное положение этих элементов оставалось неизменным.

В качестве примера рассмотрим регулирование зазора в конической передаче с коническими роликоподшипниками [110]. В этом случае регулирование зазора в зацеплении должно быть произведено так, чтобы при осевом смещении ведомого колеса *1* (фиг 290) осевой зазор в конических роликоподшипниках оставался неизменным. Осуществляется это следующим образом. Сначала регулируют осевой зазор конических роликоподшипников путем изменения расстояния *l* между выточками гнезд *2* и *3* роликоподшипников; это достигается наборами прокладок *4* разной толщины между фланцами гнезд и корпусом, причем отдельные прокладки снимаются или прибавляются в зависимости от необходимости уменьшения или увеличения осевого зазора в роликоподшипниках. Каждый раз после изменения числа прокладок и затяжки гаек необходимо производить проверку вращения вала и его осевое смещение. Окончательно установленный

осевой зазор роликоподшипников должен оставаться неизменным при последующем регулировании зазора в зацеплении зубчатых колес *1* и *5*, т. е. полученное расстояние *l* между выточками гнезд *2* и *3* роликоподшипников не должно изменяться при осевом перемещении колеса *1*. Это условие может быть выполнено лишь в том случае, если общая толщина прокладок *4* под фланцами обоих гнезд будет в процессе регулирования постоянной. Поэтому при увеличении зазора в зацеплении, т. е. при перемещении колеса *1* вправо, прокладки, снятые из-под фланца гнезда *2*, должны быть поставлены под фланец гнезда *3* и, наоборот, при уменьшении зазора в зацеплении колес, прокладки из-под фланца гнезда *3* переставляют под фланец гнезда *2*. Таким образом обеспечивается неизменность размера *l* и, следовательно, осевого зазора роликоподшипников.



Фиг. 290. Регулирование зазора в конической передаче с коническими роликоподшипниками.

По пятнам контакта, получаемым при проверке на краску конических передач, можно судить о приемлемом или недостаточном зазоре зацепления, перекосе осей зубчатых колес и других погрешностях сборки. Силовые быстроходные зубчатые передачи, кроме проверки на краску, испытывают также на шум, путем субъективной оценки или по шумомеру, с оценкой качества зацепления по уровню шума.

Узловая сборка **червячных передач** ничем не отличается от сборки узлов зубчатых передач. При общей сборке червячной передачи контролируют правильность расположения пятна контакта. Плохой контакт в зацеплении может являться следствием погрешностей в межосевом расстоянии и неперпендикулярности осей червяка и червячного колеса; необходимо также проверить расположение оси червяка в средней плоскости колеса и в случае надобности отрегулировать червячную пару путем осевого смещения червячного колеса и последующей фиксации его в этом положении.

Аналогично зубчатым передачам проверяется боковой зазор («мертвый ход») передачи. Проверкой с помощью динамометра величины крутящего момента при проворачивании передачи и его постоянства на полном обороте червячного колеса выявляется правильность посадки червячного колеса на валу, без эксцентрицитета, а также отсутствие биения червяка.

ГЛАВА VIII

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ТЕХНОЛОГИИ МАШИНОСТРОЕНИЯ

§ 1. ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ТРУДА

Проблема производительности труда Условия социалистического хозяйства, способствующие повышению производительности труда. Основные направления технологических мероприятий, повышающих производительность труда на базе взаимосвязи процессов выполнения заготовок с последующей их обработкой и процессов механической обработки со сборкой.

Повышение производительности труда путем построения операций: на агрегатных станках; на станках непрерывного действия; на универсальных станках с применением приспособлений, обеспечивающих перекрытие времени на установку заготовок; на многорезцовых токарных полуавтоматах; на быстроходных токарных гидрокопировальных полуавтоматах; на многосуппортных и многошпиндельных универсальных станках.

Повышение производительности труда путем применения комбинированного инструмента и сокращения длины хода инструмента.

Сокращение основного времени за счет режимных условий обработки.

Пути сокращения вспомогательного времени.

Поточное производство и автоматизация процессов производства как способы наиболее эффективного повышения производительности труда.

Пути повышения производительности труда при выполнении сборочных работ: дифференциация процессов сборки концентрация переходов при построении сборочных операций механизация пригоночных и сборочных работ; осуществление принципа взаимозаменяемости и внедрение поточной сборки.

Поточная сборка и автоматизация сборочных работ как способы наиболее эффективного повышения производительности труда и технологического уровня на всех этапах производственного процесса

Значение проблемы производительности труда определил В. И. Ленин, указав, что «производительность труда, это, в последнем счете, самое важное, самое главное для победы нового общественного строя» [1].

Успехи советского машиностроения в борьбе за повышение производительности труда несомненны; эти успехи, однако, не должны снижать значимости задачи дальнейшего повышения производительности, облегчения и улучшения условий труда.

Весьма существенно то, что в условиях социалистического хозяйства производительность труда должна повышаться главным образом за счет роста технической вооруженности труда и внедрения передовой техники и технологии, всемерного расширения комплекс-

---

[1] В. И. Ленин, Великий почин. Сочинения, изд. четвертое, т. 29, стр. 394. Государственное издательство политической литературы, 1952.

ной механизации и автоматизации производственных процессов, модернизации оборудования, широкого развития специализации предприятий и внедрения на этой основе поточных методов производства, коренного улучшения организации труда и ликвидации потерь рабочего времени, а также сокращения затрат труда на вспомогательных работах. Таким образом, в социалистической промышленности повышение производительности труда достигается не путем перенапряжения сил рабочего, как это имеет место в капиталистических странах, а главным образом за счет технических мероприятий, повышающих эффективность и значительно облегчающих условия труда. Наряду с этим улучшение организации труда, значительное повышение общего культурного уровня трудящихся, широкие возможности повышения их квалификации, поощрение инициативы, социалистическое соревнование и другие условия, создаваемые социалистическим хозяйством, естественно, способствуют повышению производительности труда. В машиностроении основные технологические направления, обеспечивающие повышение производительности труда, базируются, в частности, на взаимосвязи процессов выполнения заготовок и последующей их обработки, а также процессов механической обработки и сборки.

Известно, что применение современных методов получения точных отливок и поковок значительно сокращает объем механической обработки заготовок и обеспечивает возможность применения высокопроизводительных методов обработки. Более точные методы выполнения заготовок обеспечивают обычно и более высокую производительность труда. В частности, например, при штамповке производительность труда и точность заготовок значительно повышаются сравнительно со свободной ковкой; машинная формовка сравнительно с ручной формовкой, литье в оболочковые и в постоянные формы сравнительно с литьем в земляные формы, литье под давлением сравнительно с обычным литьем в постоянные формы повышают как производительность труда, так и точность отливок.

Вместе с тем применение более высокопроизводительных методов выполнения заготовок связано с увеличением доли овеществленного труда, вложенного в обрудование и технологическую оснастку. Однако при определенных условиях производства, диктуемых главным образом количественным фактором, т. е. заданной программой, величина снижения затрат живого труда значительно превышает дополнительные затраты овеществленного труда. В тех случаях, когда сопоставляются суммарные затраты живого и овеществленного труда при различных технологических вариантах производства деталей машин, целесообразно прибегать к определению себестоимости при одном и другом варианте.

Себестоимость детали $C_д$, как известно [1], определяется суммой нескольких слагаемых: *а*) затрат на изготовление заготовки $C_з$,

[1] См. главу VI, § 3, стр. 381.

б) производственной заработной платы по механической и другим видам обработки заготовки $З_м$ и *в*) цеховых (накладных) расходов по механической и другим видам обработки ($Ц_м$).

В зависимости от метода выполнения заготовки изменяется ее себестоимость; вместе с тем изменяются технология и трудоемкость, а следовательно, и производственная заработная плата и цеховые расходы по механической обработке. Поэтому технологический вариант, обусловливающий себестоимость детали $С''_д$, в сравнении с вариантом $С'_д$, оправдывается при условии $С''_д \leqslant С'_д$ или

$$С''_з + З''_м + Ц''_м \leqslant С'_з + З'_м + Ц'_м.$$

При этом, однако, необходимо при определении величины цеховых расходов учитывать возможность дальнейшего использования оборудования и оснастки при повторном изготовлении данных изделий. В этом случае даже при сравнительно небольшом программном задании оказывается целесообразным применение более совершенных методов выполнения заготовок. Например, при выпуске деталей малых и средних размеров, весом до 100 *кг*, в количестве 150—200 шт. в год целесообразно выполнять заготовки методом штамповки в закрепленных штампах [116]. Машинная формовка практически оправдывается при значительно меньших выпусках, чем это было указано для штамповки. При отливке в оболочковые формы почти полностью исключаются операции очистки литья и на 60—70% сокращается трудоемкость механической обработки сравнительно с литьем в земляные формы. Значительную экономию дает в ряде случаев применение сварных конструкций вместо монолитных заготовок.

Эти данные указывают на то, что способы получения заготовок и механическую их обработку необходимо рассматривать комплексно, с учетом затрат живого и овеществленного труда как на выполнение заготовок, так и на последующую их обработку; при этом выбор процессов получения заготовок и их обработки производится, разумеется, применительно к заданным производственным условиям.

Комплексное рассмотрение технологических процессов производства деталей машин обусловливается также тем обстоятельством, что одним из основных направлений развития технологии машиностроения является включение в поточные и автоматические линии, наряду с операциями механической и термической обработки, также заготовительных и сборочных операций (литья, штамповки, сварки и т. п.).

Наряду с выбором оптимального метода выполнения заготовки, большое значение имеет величина припуска на обработку. Обычно припуски, установленные расчетом, могут быть сняты за один проход лезвийного инструмента на каждом технологическом переходе, включая и черновую обработку, а в ряде случаев, особенно для точных методов выполнения заготовок, позволяют ограничиться одно-

кратной обработкой. Как в том, так и в другом случае значительно сокращается трудоемкость процесса обработки и повышается производительность труда. Вместе с тем уменьшение глубины резания, получающееся при расчете припусков, сравнительно с припусками, принятыми по нормативам, позволяет производить обработку с повышенными скоростями резания и подачами, что также способствует повышению производительности труда.

Аналогично при комплексном рассмотрении технологических процессов механической обработки и сборки будут найдены наиболее благоприятные решения для заданных производственных условий. Практически вопрос в этом случае сводится к такому построению технологических процессов механической обработки, которое исключает или по меньшей мере значительно сокращает пригоночные и доделочные работы на сборке. Учитывая большую трудоемкость слесарно-пригоночных работ и высокую квалификацию рабочих, выполняющих эти работы, можно уверенно сказать что в подавляющем большинстве случаев мероприятия, направленные на исключение или сокращение слесарно-пригоночных работ, будут оправданы, так как обеспечат сокращение трудоемкости процессов производства и снижение себестоимости выпускаемых изделий. В необходимых случаях технологические варианты можно сопоставлять с учетом живого и овеществленного труда по себестоимости:

$$C_{узл} = \Sigma C_д + З_{сб} + Ц_{сб},$$

где $C_{узл}$ — себестоимость собираемого узла;
$\Sigma C_д$ — суммарная себестоимость деталей и подгрупп, входящих в узел;
$З_{сб}$ — производственная заработная плата сборщиков;
$Ц_{сб}$ — цеховые расходы по сборочному цеху.

Технологический вариант $C''_{узл}$ в сравнении с вариантом $C'_{узл}$ оправдывается при условии $C''_{узл} \leqslant C'_{узл}$ или

$$\Sigma C''_д + З''_{сб} + Ц''_{сб} \leqslant \Sigma C'_д + З'_{сб} + Ц'_{сб}.$$

В тех случаях, когда видоизменяется операция механической обработки, обусловливающая исключение или сокращение слесарно-пригоночной работы при сопряжении обработанной поверхности, нужно вести сопоставление с учетом увеличения заработной платы по механической обработке $З_м$:

$$(З''_м + Ц''_м) - (З'_м + Ц'_м) \leqslant (З'_{сб} + Ц'_{сб}) - (З''_{сб} + Ц''_{сб}).$$

Примером такого видоизменения операции может служить сокращение шабровочных работ за счет введения тонкого строгания широким резцом после чернового и чистового строгания.

Если вводится дополнительная операция, например шлифование, исключающая слесарно-пригоночную работу при сборке, например шабрение, то должно быть соблюдено условие

$$З_м + Ц_м \leqslant З_{сб} + Ц_{сб},$$

где $З_м$ — производственная заработная плата при дополнительной операции механической обработки;

$Ц_м$ — связанные с ней цеховые расходы;

$З_{сб}$ — производственная заработная плата за исключаемую слесарно-пригоночную работу;

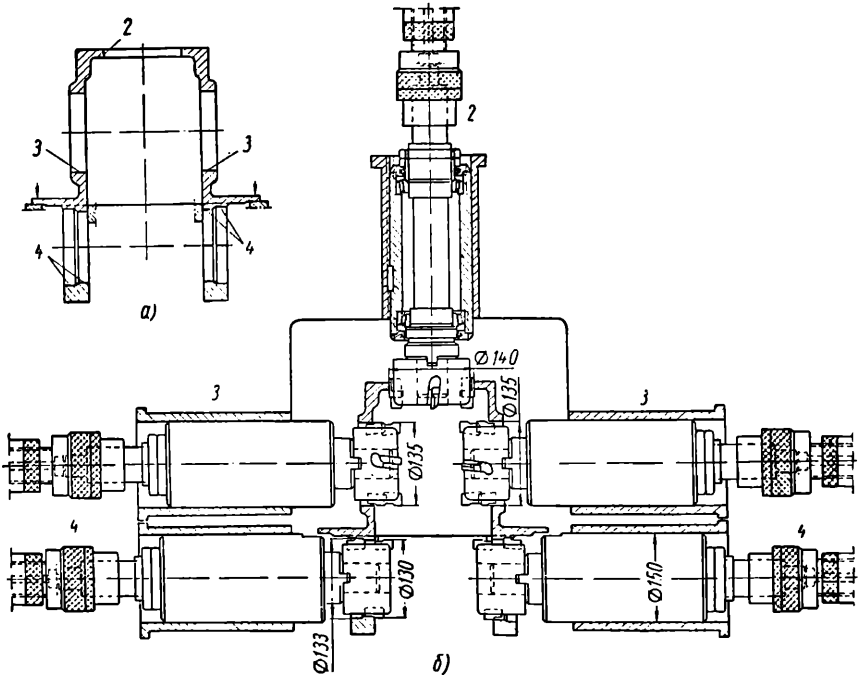
$Ц_{сб}$ — связанные с ней цеховые расходы.

Переходя от общих соображений к конкретным технологическим мероприятиям, укажем, что сокращение трудоемкости процессов механической обработки может быть достигнуто многими способами, открывающими широкое поле деятельности для технологов. Поэтому ограничимся рассмотрением основных технологических решений, повышающих производительность труда.

В связи с развитием агрегатного станкостроения проектирование технологических процессов механической обработки целесообразно в ряде случаев вести не применительно к типовому оборудованию, выпускаемому станкостроительной промышленностью, а базируясь на агрегатные полуавтоматы, изготовляемые из стандартных силовых головок и других стандартных узлов. Это позволяет запроектировать наиболее оптимальный технологический процесс обработки для заданных производственных условий и обеспечить высокую производительность труда. В этом случае имеем обычно многоинструментную настройку и многопозиционную параллельную или параллельно-последовательную обработку, совмещающую в одной операции ряд технологических переходов по сверлению или зенкерованию, развертыванию или растачиванию отверстий, подрезке торцовых поверхностей, прошиванию и хонингованию отверстий, обтачиванию концевых поверхностей полыми резцовыми головками, фрезерованию плоскостей и даже закалке токами высокой частоты. Таким образом, в современных условиях машиностроительного производства можно не приспосабливать технологический процесс к выпускаемому оборудованию, а создавать агрегатные специальные станки применительно к запроектированному оптимальному технологическому процессу. Такие станки изготовляют завод имени С. Орджоникидзе (Москва), Харьковский станкозавод малых агрегатных станков и некоторые заводы других отраслей машиностроительной промышленности.

Повышение производительности труда при обработке на агрегатных станках достигается за счет весьма значительного уменьшения как основного, так и вспомогательного времени. Основное время сокращается за счет параллельной обработки нескольких элементарных поверхностей заготовки; вспомогательное время сокращается в результате уменьшения времени, затрачиваемого на установку

заготовки для обработки, и времени, затрачиваемого на холостые хода при подводе инструмента к обрабатываемой заготовке и отводе его после обработки; при этом указанные элементы вспомогательного времени сокращаются во столько же раз, сколько отдельных операций, установов и переходов совмещает агрегатная обработка.



Фиг 291. Пример наладки для обработки картера редуктора на трехстороннем агрегатном станке:

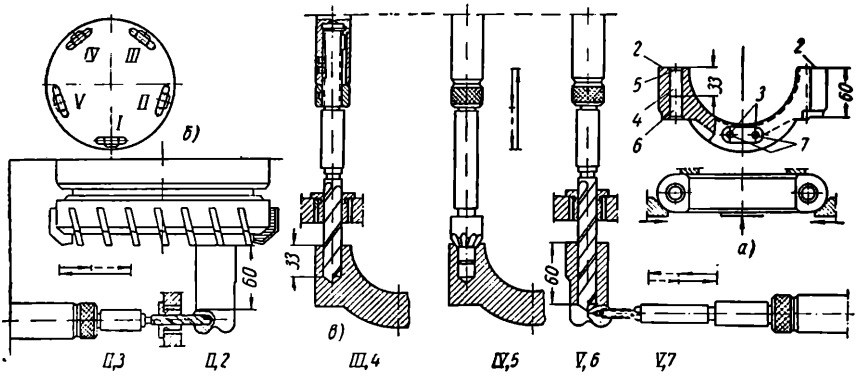
а — картер редуктора *б* — обработка картера редуктора (*1—4* — переходы обработки): *1* — съем обработанной и установка новой заготовки; 2 — растачивание отверстия Ø140 *мм*; *3* — растачивание отверстия Ø135 *мм* с двух сторон, *4* — растачивание ступенчатых отверстий Ø130 *мм* и 133 *мм* с двух сторон. Все переходы обработки выполняются параллельно.

При обработке на агрегатных станках с поворотными столами вспомогательное время сокращается также за счет перекрытия установочного времени основным (машинным) временем. В качестве примеров на фиг 291 [119] дана наладка для обработки картера редуктора на трехстороннем агрегатном станке, а на фиг. 292 [119] показана наладка для обработки крышки подшипника на агрегатном пятипозиционном станке с поворотным столом.

При обработке на агрегатных станках устойчиво достигается 3-й класс точности; путем применения более точных инструментов и более надежного их направления точность обработки может быть повышена.

В тяжелом машиностроении путем применения агрегатных установок также достигают значительного повышения производитель-

ности труда. В этом случае заготовку устанавливают на забетонированную в полу цеха чугунную строганую плиту с Т-образными пазами; на ту же плиту устанавливают переносные универсальные станки (расточные, фрезерные, радиально-сверлильные и др.) или стандартные агрегатные головки, располагая их у мест обработки вокруг заготовки; иногда переносные универсальные станки (долбежные, сверлильные и др.) устанавливаются на самой обрабаты-



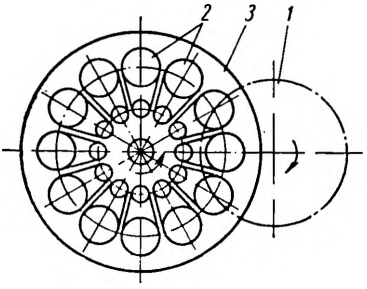
Фиг 292. Пример наладки для обработки крышки подшипника на агрегатном пятипозиционном станке с поворотным столом:

а — крышка подшипника; *б*—схема позиций (*I*—*V*) поворотного стола; *в* —обработка крышки, (*1*—*7* — переходы обработки): *I*. *1* — съем обработанной и установка новой заготовки, *II*, *2*—фрезерование плоскости стыка *II*, *3*—сверление двух отверстий под резьбу М8×1,25, 2-го класса *III* *4* — сверление двух отверстий под стяжные болты на глубину 33 *мм*; *IV*, *5* — снятие фаски в двух отверстиях; *V* *6*—сверление двух отверстий под стяжные болты насквозь; *V* *7* — нарезание резьбы в двух отверстиях М8 × 1,25. Переходы обработки выполняются параллельно-последовательно.

ваемой заготовке. Агрегатные установки позволяют производить одновременную обработку нескольких элементарных поверхностей заготовки, в результате чего достигается значительное сокращение основного времени.

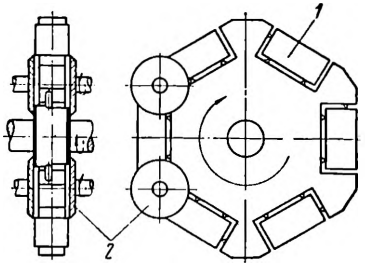
Значительное повышение производительности труда достигается применением вертикально-фрезерных и плоскошлифовальных станков карусельного типа (фиг 293), а также барабанно-фрезерных станков непрерывного действия (фиг. 294), на которых осуществляется двусторонняя черновая и чистовая обработка. Установку и снятие обрабатываемых заготовок на этих станках производят на ходу стола или барабана, который вращается со скоростью круговой подачи; таким образом, время на установку и снятие заготовок перекрывается машинным временем; в результате этого достигается повышение производительности труда.

Такие же результаты получаются использованием вращающегося стола к вертикально-фрезерному станку (фиг. 295), приспособления барабанного типа (фиг. 296) или приспособления конвейерного типа (фиг. 297) к горизонтально-фрезерному станку [119].



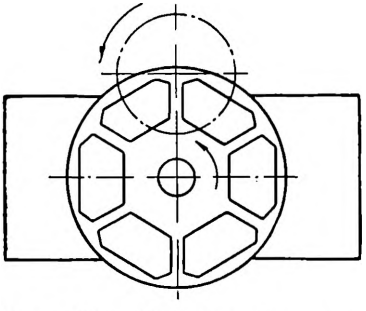
Фиг 293. Схема обработки на вертикально-фрезерном и плоскошлифовальном станках с непрерывно вращающимся столом (карусельного типа):

1 — фреза или шлифовальный круг *2* — обрабатываемые заготовки. *3* — вращающийся стол.

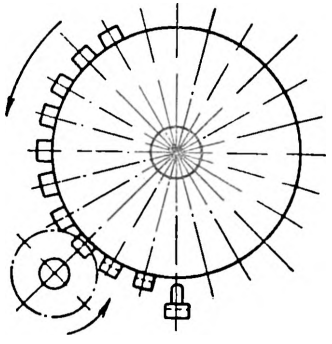


Фиг 294. Схема двустороннего чернового и чистового фрезерования на барабанно-фрезерном станке непрерывного действия:

1 — обрабатываемые заготовки; *2* — фрезы.

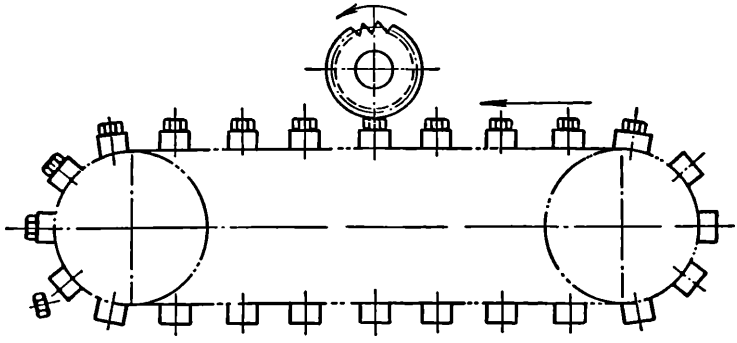


Фиг 295. Вращающийся стол к вертикально-фрезерному станку.



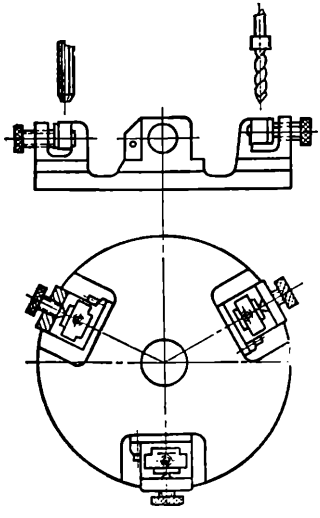
Фиг 296. Приспособление барабанного типа к горизонтально-фрезерному станку.

Повышение производительности труда достигается также, хотя и в меньшей степени, применением на фрезерных станках поворот-



Фиг 297 Приспособление конвейерного типа к горизонтально-фрезерному станку.

ных столов (см. фиг. 275) и приспособлений для маятниковой подачи (см. фиг. 274); при этом время, затрачиваемое на установку заготовок, перекрывается машинным временем; но все же при маятниковой подаче затрачивается некоторое время на переключение хода стола и холостой пробег фрезы. Многоместные приспособления к фрезерным станкам для параллельной и параллельно-последовательной обработки повышают производительность труда за счет сокращения основного и перекрытия вспомогательного времени.

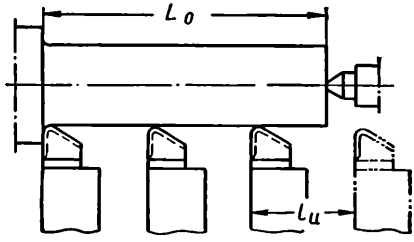


Фиг. 298. Трехместное поворотное приспособление для обработки отверстий на сверлильном станке.

Применением многошпиндельных головок на сверлильных станках достигают сокращения основного и вспомогательного времени за счет параллельной обработки отверстий. Применением поворотных приспособлений на сверлильных станках также достигают повышения производительности труда за счет совмещения переходов и перекрытия времени, затрачиваемого на установку заготовки, машинным временем; в частности, например, применение трехместного поворотного приспособления на двухшпиндельном сверлильном станке или на одношпиндельном станке с двухшпиндельной головкой (фиг. 298) обеспечивает возможность параллельно-последовательного сверления и развертывания отверстий одновременно в двух заготовках.

За тот период времени, когда производится параллельное сверление и развертывание, обработанная заготовка снимается и на ее место устанавливается новая заготовка. Затем приспособление поворачивается на 120°; при этом просверленное отверстие подводится под развертку, вновь установленная заготовка — под сверло, а развернутая заготовка — на свободную от инструмента загрузочную позицию.

Применением многорезцовых токарных полуавтоматов достигают повышения производительности труда за счет параллельной обработки элементарных поверхностей ступенчатого вала или сокращения длины хода инструмента при обработке гладкого вала (фиг. 299); в этом случае длина хода инструмента $l_и$ значительно меньше общей длины обрабатываемой поверхности L_0. Однако гладкие валы целесообразнее обрабатывать из калиброванного прутка шлифованием, а многорезцовое обтачивание дает значительный эффект только при обработке жестких ступенчатых валов, так как при обработке менее жестких валов из-за значительных деформаций заготовки приходится уменьшать глубину резания и подачу; для обработки нежестких заготовок целесообразнее применять быстроходные токарные гидрокопировальные полуавтоматы.

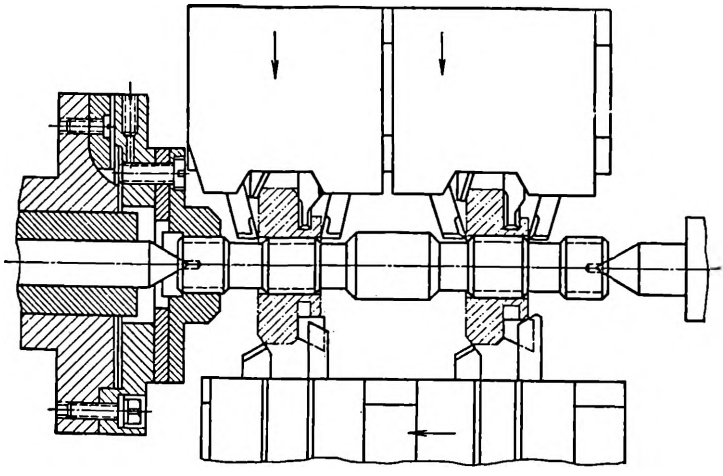


Фиг. 299. Схема многорезцового обтачивания гладкого вала.

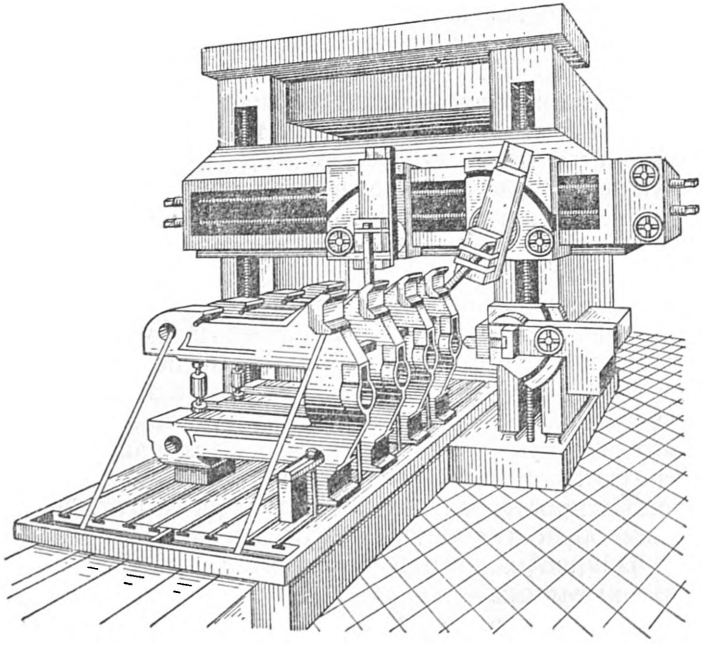
Значительное повышение производительности труда достигается в случае применения групповых наладок на многорезцовых токарных полуавтоматах за счет параллельной обработки нескольких заготовок (фиг. 300).

В тяжелом машиностроении повышение производительности труда достигается применением многосуппортных и многошпиндельных станков. При этом стремятся использовать по возможности все имеющиеся у станка суппорты или шпиндели, а также наибольшую длину хода станка, производя обработку станко-партиями. Расположение заготовок на столе станка должно обусловливать равномерно распределенную нагрузку направляющих стола и возможное сокращение холостых пробегов. В качестве примера на фиг. 301 показана одновременная обработка четырех заготовок на продольно-строгальном станке [119]. Аналогично могут быть использованы и продольно-фрезерные станки.

Совмещение технологических переходов может быть получено также применением комбинированных инструментов, которые выполняются цельными или сборными. К таким инструментам относятся ступенчатые сверла, зенкеры и развертки, ступенчатые сверла-развертки, сборные ступенчатые цековки, сборные ступенчатые зенкеры-

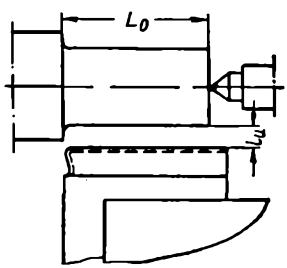


Фиг. 300. Сдаренная наладка многорезцового токарного полуавтомата для обработки двух заготовок зубчатых колес.



Фиг 301. Обработка четырех заготовок одновременно на продольно-строгальном станке.

цековки и т. п. Сборные комбинированные инструменты проще комбинированных цельных в изготовлении и в ряде случаев удобнее в эксплуатации, так как они допускают восстановление размеров или смену элементов при износе и затуплении. К сборным инструментам можно отнести также инструментальные блоки, представляющие собой набор простых или комбинированных инструментов, закрепляемых в одной головке или державке для комплексной обработки элементарных поверхностей заготовки (расточные скалки или оправки для обработки ступенчатых отверстий, многорезцовые державки для обтачивания ступенчатых поверхностей, державки со сверлами и резцами для параллельного обтачивания наружных поверхностей и сверления отверстий и т. п.). Применение комбинированных инструментов можно особенно рекомендовать в тех случаях, когда для выполнения обработки недостает рабочих позиций на агрегатных станках или в целях сокращения числа переходов при обработке на универсальном оборудовании.



Фиг. 302. Пример обработки методом врезания—обтачиванием с поперечной подачей.

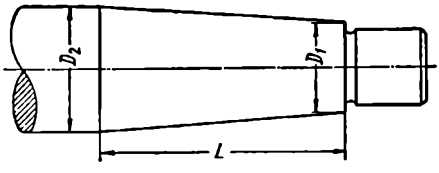
Повышение производительности труда достигается также путем сокращения длины хода инструмента, которое осуществляют либо распределением общей длины рабочего хода между несколькими инструментами, либо заменой продольной подачи поперечной подачей (обработка врезанием).

Распределение общей длины рабочего хода между несколькими инструментами, производящими параллельную или параллельно-последовательную обработку одной и той же поверхности, можно иллюстрировать, в частности, многорезцовым обтачиванием гладкого вала (см. фиг. 299), при котором имеем параллельную обработку участков вала по длине.

Метод врезания взамен продольной подачи применяется в тех случаях, когда представляется возможным одновременно охватить режущим инструментом весь периметр обрабатываемой поверхности, т. е. при относительно небольшой ее протяженности. Применение метода врезания можно иллюстрировать следующими примерами: обтачивание методом поперечной (радиальной) подачи вместо продольной подачи (фиг. 302); в этом случае длина хода инструмента $l_и$ значительно меньше длины обработки L_0; то же самое получим при торцовом точении с осевой подачей вместо радиальной, при растачивании поперечной подачей вместо продольной подачи, при цековании торцовой поверхности вместо торцового точения радиальной подачей, при протягивании вместо других методов обработки, при фрезеровании резьбы гребенчатой фрезой вместо дисковой фрезы или резьбового резца и т. д.; при этом в целях повышения чистоты обработанной поверхности величина подачи уменьшается в конце

цикла, который заканчивается при некоторой выдержке инструмента без подачи. Эти высокопроизводительные методы обработки могут эффективно применяться не только в массовом, но и в производствах других типов.

Повышению производительности труда способствует также применение ускоренных подач при подводе к заготовке и отводе в исходное положение инструментов, а также ускоренных холостых пробегов при многоместной обработке; при нарезании резьбы это достигается применением винторезных и гайкорезных головок с самоубирающимися в конце рабочего хода гребенками, что исключает реверсирование (вывинчивание) инструмента.



Фиг. 303. К расчетам основного времени обработки конической поверхности при $n = \text{const}$ и при $v = \text{const}$.

Сокращение основного времени может быть получено в ряде случаев путем изменения режима резания в процессе обработки. Обычно при установлении режима резания исходят из наиболее неблагоприятных условий обработки; в частности, при обтачивании конической поверхности или подрезке торцовой поверхности скорость резания устанавливают в соответствии с наибольшими диаметрами конической или торцовой поверхности; при этом режим резания обычно остается неизменным в течение всего цикла обработки.

Вместе с тем на станках с бесступенчатым регулированием числа оборотов целесообразно производить обработку при переменных режимах работы станка в течение цикла обработки.

О сокращении основного времени t_o можно судить на основании следующих расчетов.

При обработке конической поверхности длиной L (фиг. 303) с постоянным режимом работы станка ($n = \text{const}$) имеем

$$t_o = \frac{L}{c'} = \frac{L}{ns} = \frac{L\pi D_2}{1000 \cdot vs},$$

так как

$$c' = ns = \frac{1000 \cdot vs}{\pi D_2},$$

где c' — минутная подача в *мм*;
n — число оборотов в минуту;
s — подача на один оборот в *мм*;
v — скорость резания в *м/мин*

При обработке той же поверхности с переменным числом оборотов и постоянной скоростью резания ($v = \text{const}$) имеем

$$c'' = f(D);\quad c'' = \frac{dL}{dt_o''};\quad dt_o'' = \frac{dL}{c''};$$

$$t_o'' = \int_0^L \frac{dL}{f(D)} = \int_0^L \frac{dL\pi D}{1000 \cdot vs} = \frac{\pi}{1000 \cdot vs}\int_0^L DdL;$$

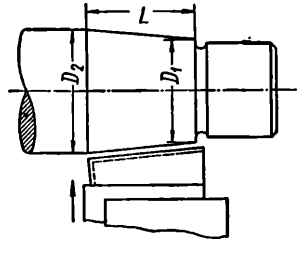
$$\frac{t_o'}{t_o''} = \frac{L\pi D_2}{1000 \cdot vs} : \frac{\pi}{1000 \cdot vs}\int_0^L DdL = \frac{D_2 L}{\int_0^L DdL} = \frac{D_2 L}{\frac{D_2 + D_1}{2}L} = \frac{2D_2}{D_2 + D_1}.$$

Из отношения

$$\frac{t_o'}{t_o''} = \frac{2D_2}{D_2 + D_1}$$

видим, что по мере уменьшения диаметра D_1 отношение $\frac{t_o'}{t_o''}$ приближается к 2, т. е. обработка при $v = \text{const}$ дает тем большее сокращение основного времени, сравнительно с обработкой при $n = \text{const}$, чем больше разность $D_2 - D_1$.

Однако обработку конических поверхностей при бесступенчатом изменении числа оборотов целесообразно применять при значительной длине L конической поверхности; при коротких конических шейках больший эффект достигается обработкой их методом врезания (фиг. 304). В этом случае обычно производят обработку со ступенчатым изменением поперечной подачи, уменьшая ее по мере приближения к заданному размеру и выдерживая несколько оборотов без подачи при окончании обработки для получения более чистой поверхности.



Фиг. 304. К расчету основного времени обработки конической поверхности методом продольной подачи и методом врезания

При ступенчатой подаче основное время обработки определяем по формуле

$$t_o''' = \frac{az}{ns_1} + \frac{bz}{ns_2} + \frac{cz}{ns_3} + \frac{n_{выд}}{n} = \frac{1}{n}\left(\frac{az}{s_1} + \frac{bz}{s_2} + \frac{cz}{s_3} + n_{выд}\right),$$

где a, b, c — коэффициенты, характеризующие долю общего припуска, снимаемую при подачах s_1, s_2, s_3;

z — припуск на обработку по радиусу;

n — число оборотов в минуту;

$n_{выд}$ — число оборотов выдержки.

При небольших припусках на обработку, в связи с незначительным уменьшением диаметра при снятии припуска, обработку производят при постоянном числе оборотов в минуту, которое определяют по наибольшему диаметру конической поверхности.

Подставляя значение $n = \frac{v}{\pi D_2}$, получаем

$$t_o''' = \frac{\pi D_2}{v}\left(\frac{az}{s_1} + \frac{bz}{s_2} + \frac{cz}{s_3} + n_{выд}\right).$$

Пример. Определить основное время обработки конической шейки вала ($D_2 = 50$ *мм*, $D_1 = 45$ *мм*; $L = 40$ *мм*) при трех вариантах:

1) с постоянным режимом работы станка (n=const) — t_o';

2) с переменным числом оборотов (v = const) — t_o'';

3) методом врезания со ступенчатым изменением поперечной подачи и постоянным числом оборотов — t_o'''

$$t_o' = \frac{\pi D_2 L}{1000 \cdot vs} = \frac{\pi \cdot 50 \cdot 40}{1000 \cdot 50 \cdot 0{,}3} \approx 0{,}42 \text{ мин.};$$

$$t_o'' = \frac{\pi}{1000 \cdot vs}\int_0^L DdL = \frac{\pi}{1000 \cdot vs} \cdot \frac{D_2 + D_1}{2} L = \frac{\pi}{1000 \cdot 50 \cdot 0{,}3} \cdot \frac{50 + 45}{2} \cdot 40 \approx 0{,}4 \text{ мин.};$$

$$t_o''' = \frac{\pi D_2}{1000 \cdot v}\left(\frac{az}{s_1} + \frac{bz}{s_2} + \frac{cz}{s_3} + n_{выд}\right) =$$

$$= \frac{\pi \cdot 50}{1000 \cdot 50}\left(\frac{0{,}45 \cdot 2}{0{,}06} + \frac{0{,}3 \cdot 2}{0{,}04} + \frac{0{,}25 \cdot 2}{0{,}02} + 5\right) \approx 0{,}2 \text{ мин.};$$

$$\frac{t_o'}{t_o''} = \frac{2D_2}{D_2 + D_1} = \frac{2 \cdot 50}{50 + 45} = 1{,}05; \qquad \frac{t_o'}{t_o'''} = \frac{0{,}42}{0{,}4} = 1{,}05.$$

Этот результат показывает, что при заданных условиях (короткая коническая шейка) обработка при v = const не дает ощутимого эффекта.

Сопоставляя обработку при n = const с обработкой методом врезания, получим

$$\frac{t_o'}{t_o'''} = \frac{0{,}42}{0{,}2} = 2{,}1.$$

Сопоставляя обработку при v = const с обработкой методом врезания, получим

$$\frac{t_o''}{t_o'''} = \frac{0{,}4}{0{,}2} = 2.$$

Таким образом, производя обработку методом врезания, сокращаем основное время в 2—2,1 раза сравнительно с другими методами

При отрезке и подрезке торцовых поверхностей и торцовом обтачивании с переменным числом оборотов (v = const) можно получить значительное сокращение основного времени (фиг 305).

Основное время при $n = \text{const}$

$$t_o' = \frac{L}{c'} = \frac{R_1 - R_2}{ns} = \frac{(R_1 - R_2)\,2\pi R_1}{1000 \cdot vs}.$$

Основное время при $v = \text{const}$

$$c'' = \frac{dR}{dt_o''}; \qquad c'' = f(R); \qquad c'' = \frac{1000 \cdot vs}{2\pi R};$$

$$dt_o'' = \frac{dR}{c''}; \qquad t_o'' = \int_{R_1}^{R_2} \frac{dR}{f(R)} = \int_{R_1}^{R_2} \frac{dR \cdot 2\pi R}{1000 \cdot vs} = \frac{2\pi}{1000 \cdot vs} \int_{R_1}^{R_2} R\,dR =$$

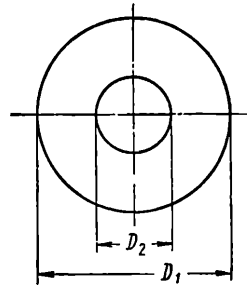
$$= \frac{2\pi}{1000 \cdot vs} \cdot \frac{R_1^2 - R_2^2}{2} = \frac{\pi\,(R_1^2 - R_2^2)}{1000 \cdot vs}.$$

Сопоставляя t_o' и t_o'', получаем

$$\frac{t_o'}{t_o''} = \frac{(R_1 - R_2)\,2\pi R_1}{1000 \cdot vs} : \frac{\pi\,(R_1^2 - R_2^2)}{1000 \cdot vs} = \frac{(R_1 - R_2)\,2R_1}{R_1^2 - R_2^2} =$$

$$= \frac{(R_1 - R_2)\,2R_1}{(R_1 + R_2)(R_1 - R_2)} = \frac{2R_1}{R_1 + R_2}.$$

По мере уменьшения R_2 отношение $\frac{t_o'}{t_o''}$ приближается к 2; при обработке сплошной торцовой поверхности ($R_2 = 0$) основное время при $v = \text{const}$ сокращается вдвое сравнительно с основным временем при $n = \text{const}$.



Фиг. 305. К расчету основного времени при отрезке, подрезке торцов и торцовом обтачивании при $n = \text{const}$ и при $v = \text{const}$.

Современные металлорежущие станки характеризуются быстроходностью, большими подачами, повышенной жесткостью и значительно увеличенной мощностью приводов. Новые инструментальные материалы дают возможность производить обработку при высоких скоростях резания, а современные конструкции инструментов и геометрические параметры режущего лезвия позволяют производить обработку не только при высоких скоростях резания, но и с большими подачами. Уже обычными считаются скорости резания порядка 150—450 *м/мин* при обработке черных металлов и до 6000 *м/мин* при обработке цветных металлов. Подачи на современных фрезерных станках достигают 2500 *мм/мин* при обработке серого чугуна и 6000 *мм/мин* при обработке цветных металлов; подачи при обработке резцами токаря-новатора В. А. Колесова достигают 5 *мм/об* при чистовой обработке. Эти данные говорят о широких возможно-

стях повышения производительности труда за счет режимных условий обработки, сокращающих основное время.

Норма выработки или производительность N определяется, как известно, по формуле (167):

$$N_{час} = \frac{60}{T_ш},$$

из которой видно, что производительность повышается пропорционально сокращению штучного времени; последнее определяется по формуле (159):

$$T_ш = \left(1 + \frac{t_{пер}}{100} + \frac{t_{орг}}{100}\right) T_{оп} + T_т.$$

Обозначив

$$1 + \frac{t_{пер}}{100} + \frac{t_{орг}}{100} = a$$

и учитывая, что

$$T_{оп} = T_о + T_в,$$

получаем

$$T_ш = a(T_в + T_о) + T_т.$$

Время $T_т$, затрачиваемое на смену инструмента, отнесенное к 1 шт. обрабатываемых заготовок, определяется по формуле (166):

$$T_т = \frac{T_и t_о}{T},$$

где $T_и$ — время, затрачиваемое на каждую смену инструмента, в мин.;

T — период стойкости инструмента в мин.

При этом $t_о$ на каждый проход при принятой постоянной подаче уменьшается пропорционально увеличению скорости резания v:

$$t_о = \frac{\pi DL}{1000 \cdot vs} = \frac{c_{t_о}}{v},$$

где

$$c_{t_о} = \frac{\pi DL}{1000 \cdot s}.$$

Подставляя значение $T_т$ в формулу штучного времени, получим

$$T_ш = a(T_в + T_о) + \frac{T_и t_о}{T};$$

при однопроходной обработке $T_о = t_о$; тогда

$$T_ш = a\left(T_в + \frac{c_{t_о}}{v}\right) + \frac{T_и}{T}\frac{c_{t_о}}{v} = aT_в + \frac{c_{t_о}}{v}\left(a + \frac{T_и}{T}\right).$$

С увеличением скорости резания t_0 уменьшается, T_m несколько увеличивается в связи с уменьшением стойкости и, если $T_в$ остается неизменным, то штучное время $T_ш$ сокращается медленее основного времени t_0. Поэтому наибольший эффект достигается в том случае, когда наряду с повышением режима резания проводятся мероприятия по сокращению вспомогательного времени $T_в$.

Значительную долю вспомогательного времени составляет время, затрачиваемое на установку заготовки для обработки и снятие ее по окончании обработки. Поэтому наибольшее сокращение штучного времени достигается, как было уже отмечено выше, при перекрытии установочного времени (установки и снятия заготовки) машинным, т. е. основным временем при обработке на станках непрерывного действия и многопозиционных полуавтоматах. Применение поворотных приспособлений на фрезерных и сверлильных станках также значительно сокращает вспомогательное время. Возможность перекрытия установочного времени машинным временем при высоких режимах резания обусловливается применением быстродействующих приспособлений, которые существенно влияют на сокращение вспомогательного времени также и в тех случаях, когда обработка производится без перекрытия машинным временем вспомогательного времени. Таким образом, задача сокращения вспомогательного времени путем применения быстродействующих приспособлений возникает во всех случаях станочной обработки.

Наибольший эффект достигается при удалении обработанных и установке новых заготовок с помощью автоматически действующих магазинных установочных, зажимных и выбрасывающих устройств.

В частности, например, известны случаи повышения производительности труда в 2—2,5 раза путем автоматизации закрепления и освобождения заготовок, обрабатываемых в приспособлении фрезерного станка; при этом установка и снятие заготовок производились вручную, т. е. без магазинного и загрузочного устройств [115]. В ряде случаев ограничиваются частичной автоматизацией приспособления, например автоматизацией удаления обработанной заготовки из приспособления. Значительный эффект достигается путем замены ручных зажимов пневматическими, гидравлическими и пневмогидравлическими силовыми устройствами для зажима заготовок, а также инерционными зажимными устройствами [1]

В ряде случаев представляется целесообразным заменять винтовые зажимы эксцентриковыми; возможны и другие конструктивные решения при проектировании рабочих приспособлений, например замена ручных зажимов педальными освобождает обе руки рабочего.

Снижение затрат вспомогательного времени достигается увеличением скоростей отвода суппортов и шпинделей в исходное положение,

[1] Все эти устройства рассматриваются в курсе «Основы конструирования приспособлений».

скоростей холостых пробегов инструмента и других вспомогательных перемещений. Система управления рабочим циклом и продуманная организация рабочего места также существенно влияют на величину вспомогательного времени.

Изложенные соображения не исчерпывают, разумеется, возможных решений задачи повышения производительности труда; вместе с тем работа технолога в указанных направлениях обеспечивает определенные результаты, особенно когда сокращение основного и вспомогательного времени проводится в совокупности с целесообразным построением станочных операций.

Сокращение цикла производства и снижение потерь времени по организационным причинам достигается регламентацией производственного процесса путем применения поточных способов производства в массовом и серийном машиностроении. Современная поточная линия включает обычно не только механическую, но и термическую обработку, сварку, а в ряде случаев и заготовительные процессы — горячую штамповку или литье.

Расстановка оборудования, применяемая в поточном производстве, значительно упрощает автоматизацию транспортировки обрабатываемых заготовок. Таким образом, поточная линия является основой для комплексной автоматизации производственных процессов в машиностроении.

Автоматизация производственных процессов резко сокращает число занятых рабочих и, следовательно, путем автоматизации достигается наиболее эффективное повышение производительности труда.

В советском автомобилестроении производительность труда на автоматических линиях в сравнении с неавтоматизированными процессами возросла в 2—4 раза. Однако такое повышение производительности труда не характеризует всех возможностей в этом направлении. В частности, например, на автомобильном заводе форда в Кливленде (США) после коренного усовершенствования и автоматизации процессов на больших участках число рабочих сократилось с 2500 до 250 при удвоении выпуска автомобилей, т. е. производительность труда повысилась в среднем в 20 раз, а на отдельных участках более чем в 36 раз. Следует отметить, что до автоматизации (1950 г.) в этом производстве применялись высокопроизводительные многоинструментные полуавтоматы [114].

Наглядным примером автоматизации в условиях серийного производства служат изготовленные в 1949—1952 гг. заводами «Станкоконструкция» по проектам и рабочим чертежам ЭНИМСа автоматические линии, предназначенные для производства валов электродвигателей, напрессовки на них роторов и механической обработки роторов в сборе с валами. Каждая из четырех построенных линий налажена на производство валов-роторов нескольких типоразмеров; таким образом, линии допускают переналадку для обработки валов различных размеров в пределах заданных габаритов. Каждая из линий включает все операции по обработке и контролю валов, начи-

ная от фрезерования и зацентровки торцов, включая запрессовку вала в пакет ротора, обтачивание напрессованного на вал ротора и кончая балансировкой вала-ротора. В начале линии установлен магазин для подачи заготовок; далее заготовки перемещаются транспортером, расположенным вдоль всей линии; линия заканчивается разгрузочным магазином, в который скатываются изготовленные валы-роторы. Проектная производительность линий от 210 000 до 250 000 валов-роторов в год, в зависимости от заданий заводов, на которых установлены линии. Эксплуатация линий на заводах электропромышленности показала их надежность и эффективность, а также возможность использования в качестве типовых автоматических линий для изготовления ступенчатых валов по 2-му классу точности [118].

Автоматизация может быть осуществлена не только в массовом и крупносерийном производстве, но также и в мелкосерийном производстве путем замены универсальных станков автоматическими одноинструментными станками с программным управлением. В единичном производстве достигают определенного эффекта автоматизацией холостых ходов и устройствами, обеспечивающими быстрое переключение скоростей вращения и подач.

При выполнении сборочных работ можно отметить следующие основные направления в решении задачи повышения производительности труда.

Дифференциация процессов сборки в соответствии со схемой сборочных элементов изделия обусловливает возможность параллельного выполнения узловой и общей сборки, специализации сборщиков и применения на рабочих местах высокопроизводительного оборудования. Цикл сборки в этом случае сокращается, а производительность труда повышается.

Параллельное выполнение нескольких технологических переходов в одной операции обусловливает сокращение длительности цикла сборки.

Механизация пригоночных и сборочных работ, независимо от типа производства, значительно сокращает как основное (технологическое), так и вспомогательное время и, следовательно, повышает производительность труда.

Осуществление принципа взаимозаменяемости, исключающее необходимость пригонки сопрягаемых элементов, сокращает объем сборочных работ. Вместе с тем взаимозаменяемость обусловливает возможность применения высокопроизводительных методов поточной сборки, основанной, как известно, на целесообразной дифференциации сборочного процесса, допускающей параллельное выполнение технологических переходов. В результате всего этого достигается не только сокращение длительности цикла сборочного процесса, но также и значительное повышение производительности труда.

Поточная сборка и автоматизация процессов сборки являются наиболее эффективными способами повышения производительности

труда. Однако работы в области автоматизации процессов сборки развертываются весьма медленно сравнительно с автоматизацией процессов производства деталей машин. В результате этого трудоемкость сборочных работ составляет более 20% общей трудоемкости производства машин при конвейерной сборке и достигает 50% на предприятиях, не применяющих конвейерную сборку. Удельное значение трудоемкости сборочных работ будет, естественно, повышаться по мере снижения трудоемкости обработки в результате автоматизации процессов производства деталей машин. Поэтому очевидна необходимость расширения работ по механизации и автоматизации процессов сборки.

Эффективность автоматизации сборочных работ можно иллюстрировать следующими примерами

Автоматизация на Горьковском автомобильном заводе процессов штамповки и сборки пластин сот трехрядных водяных радиаторов автомобиля ГАЗ-51 позволила сократить 36 рабочих

Встроенные в линию сборки платформ на том же заводе гвоздезабивные автоматы для прибивки досок грузовых платформ автомобилей к поперечным брусьям повысили производительность труда при сборке платформы на 25%.

Полуавтомат для сборки конических подшипников диаметром 110—170 *мм*, спроектированный и изготовленный на Минском ГПЗ, увеличил производительность труда в 3,5 раза, а при дальнейшем возможном сокращении цикла повысит производительность труда в 5 раз [117]

Значительный опыт по автоматизации сборочных работ накоплен зарубежным машиностроением. Так, на заводе фирмы «Плимут» автоматизирована сборка V-образных двигателей с темпом сборки 24 сек. Узловая сборка элементов двигателя, в частности головок цилиндров, производится на особых линиях, с которых собранные узлы подаются на главную линию сборки двигателя. Пульсирующее и ритмичное перемещение собираемого двигателя от одной позиции к другой позволяет применять автоматически действующие пневматические многошпиндельные головки для завертывания винтов и гаек с тарированным крутящим моментом, а также другие автоматические устройства. Однако операции предварительного навертывания гаек и ввертывания винтов, постановки прокладок и некоторые другие сборочные работы производятся вручную. Притирка отверстий, установка коленчатого вала, затяжка гаек, прессовые посадки и другие элементы процесса сборки производятся автоматически.

После каждого автоматизированного механизма на линии предусмотрены запасные позиции, на которых в случае поломки автомата работа производится вручную механизированным инструментом.

В зарубежной практике широко применяют автоматизацию транспортировки элементов собираемых машин к сборочному конвейеру. В частности, на заводе «Остин» применена транспортно-раздаточная

система с автоматическим адресованием подвесок посредством перфорационных карт, программно-задающих и индексирующих устройств. Передачу собираемого узла или изделия от одной станции к другой обычно также автоматизируют Применение подвесного конвейера для сборки двигателей на заводе Форда позволило производить сборку, окраску, испытание и другие операции сборочного процесса без ручных перевесок собираемого узла и в результате этого увеличить производительность труда на 25—35% [114].

Сборка, являющаяся конечным этапом производственного процесса, определяет технологию всех предшествующих стадий производства. Таким образом, технология поточной и автоматизированной сборки повышает технологический уровень на всех этапах производственного процесса

§ 2. ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ДАЛЬНЕЙШЕГО РАЗВИТИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МЕТОДОВ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Направления в области выполнения заготовок: применение профильного проката и прессованных полос, совершенствование методов выполнения поковок и отливок.

Изменения в процессах механической обработки в связи с внедрением прогрессивных методов выполнения заготовок

Направления дальнейшего развития технологии сборки

Взаимосвязь развития конструкций элементов машин с технологией их производства.

Автоматизация является одной из основных тенденций в дальнейшем развитии современного машиностроения. В ближайшие годы, в соответствии с решениями XXI съезда КПСС и 7-летним планом развития народного хозяйства СССР в советском машиностроении предусматривается значительное расширение автоматизации производственных процессов.

Необходимо подчеркнуть, что автоматизация производства требует повышения технологического и технического уровня на всех этапах производственного процесса. В свете этого положения необходимо рассмотреть основные принципиальные направления дальнейшего развития технологических методов машиностроительного производства.

Учитывая, что в настоящее время в советском машиностроении предусмотрено расширение применения новых, прогрессивных методов в производстве заготовок на машиностроительных предприятиях, отметим основные направления в развитии заготовительных процессов.

В условиях массового и крупносерийного производства должна быть обеспечена возможность широкого применения проката специальных профилей, что обусловит не только значительную экономию металла, но также и весьма ощутимое снижение трудоемкости процессов последующей механической обработки. При изготовлении

деталей высоких классов точности из проката путем последующего профильного волочения может быть получен профиль, полностью соответствующий контуру готовой детали с точностью, исключающей необходимость последующей обработки резанием.

Освоение производства прессованных профильных полос, помимо преимуществ, указанных для проката специальных профилей, обеспечит возможность получения заготовок более высокой точности, чем прокат, а также таких профилей, которые не могут быть получены прокаткой.

При изготовлении поковок будут широко применяться механические штамповочные пресса и штамповочные молоты вместо малопроизводительных прессов и молотов для свободной ковки, область применения которой будет ограничена только единичным производством. При этом должны найти применение нагрев заготовок в камерах газовых печей, нагрев токами высокой и промышленной частоты, электроконтактный нагрев, термообработка поковок в соляных ваннах, что обеспечит возможность изготовления поковок в непрерывном потоке без последующей очистки.

Необходимо отметить, что штамповочные молоты дают меньшую производительность и значительно меньшую точность сравнительно с механическими штамповочными прессами, в силу чего последние найдут в дальнейшем преимущественное применение.

Калибровка-чеканка штампованных заготовок значительно повышает точность выдерживаемых размеров и качество подвергаемых чеканке поверхностей и исключает последующую обработку резанием этих поверхностей или ограничивает ее только шлифованием непосредственно после чеканки.

Внедрение новых ковочных машин с встроенным индукционным нагревом позволит совмещать скоростной нагрев (20—40 сек.) и формообразование заготовки в одном рабочем цикле ковочной машины, получать заготовки без окалины и автоматизировать процесс штамповки. Применение ковочных вальцов является в ряде случаев целесообразным для получения ленты заготовок, соединенных между собой пленкой металла, удаляемой на обрезном прессе. Вместе с тем ковочные вальцы могут применяться для получения периодического профиля, штампуемого затем на молотах или прессах, что обеспечит экономию металла, повышение стойкости штампов и рост производительности труда при штамповке.

Холодная высадка, осуществляемая на высокопроизводительных прессах-автоматах, должна найти широкое применение при изготовлении крепежных и других деталей (толкателей, роликов, шариков, заглушек, мелких ступенчатых валиков и т. п.), как метод, обеспечивающий высокую точность изготовления, при которой отпадает необходимость в последующей обработке резанием.

Холодная листовая штамповка является высокопроизводительным методом производства, широкое применение которого обеспечит в ряде случаев значительное снижение трудоемкости процессов изго-

товления деталей и узлов машин без последующей обработки резанием.

Эффективность снижения трудоемкости процессов производства следует ожидать в результате внедрения сварных и, в частности, штампо-сварных конструкций. При этом значительно шире должна применяться автоматическая и полуавтоматическая сварка под флюсом, электрошлаковая сварка, сварка в среде защитных газов, контактная сварка и другие прогрессивные методы сварки при максимальной механизации и автоматизации поточного сварочного производства.

В производстве отливок, в целях повышения точности заготовок и сокращения объема последующей механической обработки, должно быть широко внедрено литье: по выплавляемым моделям, в оболочковые формы, в кокиль, под давлением, с применением поточных методов производства. В массовом и серийном производстве должно быть расширено применение металлических форм для крупных и сложных отливок с использованием качественных обмазок и красок, тонкостенной песчаной облицовки, металлических и песчаных стержней. В мелкосерийном и единичном производстве должны быть механизированы формовочные и стержневые работы путем широкого использования существующих конструкций машин на основе легкосменных модельных плит и стержневых ящиков; почвенная формовка подлежит резкому сокращению за счет перехода на формовку опочную, каркасную и стержневую. Во всех случаях производства отливок должна широко применяться высокопроизводительная пескометная набивка форм и стержней, а также пескодувные многопозиционные формовочные машины с допрессовкой.

При подготовке заготовок к последующей обработке должны быть ликвидированы, как вредные для здоровья рабочих, голтовка черных заготовок в барабанах и пескодувная их очистка, за счет широкого внедрения дробеметной очистки и гидроочистки, обеспечивающих более высокую производительность и повышающих качество черных заготовок.

Внедрение рассмотренных прогрессивных методов выполнения черных заготовок значительно сократит объем последующей их обработки резанием и внесет существенные изменения в процессы механической обработки черных заготовок. Точные методы литья, точная штамповка и штамповка с последующей чеканкой позволяют ограничить обработку посадочных поверхностей непосредственно абразивным инструментом. Менее точные методы выполнения заготовок потребуют предварительной однократной обработки лезвийным инструментом. Только заготовки, полученные литьем в земляные формы и штамповкой на молотах, потребуют черновой и чистовой или черновой, получистовой и чистовой обработки, в зависимости от точности выполнения заготовки; поковки, полученные свободной ковкой, потребуют, кроме того, предварительной обдирки. Однако свободная ковка, как уже отмечено, сохранится только в единичном

производстве; по-видимому, в дальнейшем область применения литья в земляные формы ограничится единичным и мелкосерийным производством, а штамповка на молотах — мелкосерийным производством. В серийном и массовом производстве найдут применение более совершенные методы выполнения заготовок, обеспечивающие возможность сокращения общей трудоемкости изготовления и значительного уменьшения удельного значения обработки резанием в общей трудоемкости процессов производства. Вместе с тем в технологии обработки заготовок можно ожидать повышения удельного значения отделочных операций в связи с повышением требований к точности и качеству поверхностей деталей, связанных в возрастающими требованиями к износостойкости, прочности и другим эксплуатационным качествам машин. Таким образом, при обработке заготовок будут, по-видимому, превалировать методы обработки поверхностей деталей абразивным инструментом, методы тонкой обработки лезвийным инструментом, методы окончательной обработки без снятия стружки, дробеструйный и вибрационный наклеп, отделочное шлифование (суперфиниш) и электрохимические методы отделки поверхностей.

В технологических методах обработки резанием наметились нижеуказанные основные тенденции.

Замена однолезвийного режущего инструмента многолезвийным; подобно тому, как строгальный резец заменяется теперь фрезой, а расточной резец — зенкером, разверткой, протяжкой, так наметилась тенденция замены токарного резца фрезой или протяжкой. Первые попытки создания методов токарного фрезерования и токарного протягивания наружных поверхностей вращения уже сделаны; эти методы еще не получили широкого производственного применения, однако они безусловно являются перспективными методами благодаря ряду технологических преимуществ многолезвийного инструмента.

Метод протягивания, сочетающий в себе преимущества многолезвийного инструмента с прогрессивным процессом резания отдельными секциями, имеет наиболее широкие перспективы при обработке поверхностей всех основных типов (отверстий, плоских поверхностей, тел вращения и т. д.). Обработка зубьев шестерен методом протягивания в том или ином исполнении безусловно является также перспективным методом, могущим заменить современное зуборезное оборудование с его сложной кинематической схемой, множественностью рабочих движений и низкой производительностью в сравнении с заготовительными процессами и процессами обработки заготовки.

Высокие скорости резания, нашедшие первоначальное применение при обработке крупногабаритных заготовок, теперь все шире распространяются на все виды машиностроения. Первоначальный скептический взгляд, согласно которому эти методы не найдут широкого применения в производстве деталей, имеющих сравнительно неболь-

шие размеры обрабатываемых поверхностей, теперь считается необоснованным

Микрохонинг и прогрессивное хонингование, обеспечивающее обработку поверхностей отверстий с высокой степенью точности и качества поверхности, зародившиеся в производстве изделий высокой точности, безусловно получат широкое применение во всех видах машиностроения.

Таковы же перспективы применения тонкого (алмазного) растачивания, обтачивания фрезерования, развертывания, шевингования.

Электроискровую обработку можно считать перспективным методом применительно к обработке весьма малых отверстий, сложных контуров, закаленных сталей и твердых сплавов.

Ряд несомненных технологических преимуществ электрохимических методов обработки также дает основание считать их перспективными.

Изложенные основные тенденции перспективной технологии механической обработки определяют соответствующие изменения в составе станочного парка механических цехов.

По-видимому в массовом и серийном производстве оборудование механических цехов будет в основном включать: а) многоинструментные, многопозиционные полуавтоматы агрегатного типа, снабженные быстродействующими установочными приспособлениями и совмещающими ряд различных видов обработки в одну операцию, выполняемую по принципу параллельно-последовательной концентрации технологических переходов; б) станки для окончательной обработки высокоточных поверхностей как одноинструментные, так и многоинструментные (например, многокруговые шлифовальные станки для параллельной обработки шеек валов, двухкруговые станки для последовательного шлифования центрального отверстия и торца зубчатого колеса); в) автоматические линии, построенные на базе стандартных силовых головок, включающие не только различные виды механической обработки, но высокочастотную термическую обработку а также узловую сборку с последующей обработкой узла в собранном виде, промежуточный и окончательный автоматический контроль. В ряде случаев автоматические линии могут включать и заготовительные процессы, в частности высадку на ковочных машинах со встроенным в них устройством для индукционного нагрева, прессование полос, процессы гибки, сварки и раскатки кольцевых заготовок, литье заготовок из сплавов на алюминиевой и магниевой основе.

Крупные работы проводятся в области модернизации оборудования. Универсальные станки оснащаются загрузочными и измерительными устройствами, зажимными и установочными приспособлениями, гидрокопировальными суппортами, автоматическими загрузочными и другими устройствами. Большая программа намечена также по созданию новых типов высокопроизводительных станков и комплексных автоматических линий. В дальнейшем предстоят

большие исследовательские работы в области применения программных систем управления с помощью магнитной ленты или перфорационных карт и лент, использование которых позволит обойтись без шаблонов, требующих точного исполнения. Это особенно важно для предприятий с часто меняющимися объектами производства [120].

В области технологических процессов сборки будет продолжаться широкое внедрение поточных методов сборки с максимальной механизацией сборочных работ. В частности, например, значительное повышение производительности труда при сборке весьма трудоемких винтовых соединений может быть достигнуто путем применения электрических и пневматических инструментов для нормализованной затяжки гаек и винтов и в особенности многошпиндельных инструментов с регулируемым крутящим моментом затяжки для каждого размера гаек [121]. Несомненно, что будет развиваться автоматизация сборочных работ и в первую очередь на узловой сборке, так как для автоматизации общей сборки требуется специальное и сложное, а следовательно, дорогое оборудование, которое необходимо заменять при изменении конструкции собираемого изделия [122].

Автоматизация сборочных работ потребует повышения взаимозаменяемости деталей и узлов собираемых машин и ужесточения допусков на размеры, геометрические формы и пространственные отклонения деталей и собранных узлов. Вместе с тем для автоматических сборочных линий необходимо создание механизированного сборочного инструмента, установочных механизмов, автоматических транспортеров с программно-задающими устройствами и другого специального оборудования. Разработка конструкций средств автоматизации должна выполняться специализированными конструкторскими бюро и потребует больших исследовательских и опытных работ.

Заслуживает внимания сборочный автомат, основным элементом которого является станина, снабженная механизмом, управляющим движением горизонтально- или вертикально-замкнутой цепи, на которой закреплены установочные приспособления. На станине вдоль цепи расположены автоматические механизмы, производящие клепку, запрессовку, пайку, затяжку гаек и винтов, а также требующиеся в процессе сборки операции механической обработки. Автоматы могут быть соединены в линии и в этом случае снабжаются передаточными устройствами [114].

Автоматизация является высшей, завершающей формой машиностроительного производства, но и самая совершенная автоматизация поддается дальнейшему усовершенствованию.

В заключение необходимо подчеркнуть то большое влияние, которое оказывает конструкция машины и ее элементов на технологию производства, производительность труда, а также на возможность механизации и автоматизации производственных процессов. Не всякая конструкция обеспечивает условия повышения производительности труда и целесообразность автоматизации производ-

ственных процессов, а лишь конструкция, разработанная с учетом технологических требований производства. Вместе с тем развитие и совершенствование технологических методов производства обеспечивают предпосылки для создания более высокого класса конструкций. Современное развитие техники повышает требования к технологическим методам производства, что обязывает технолога неустанно и непрерывно совершенствовать эти методы.

Новые конструкции заставляют изыскивать новые технологические методы производства и, наоборот, развитие технологии машиностроения, создание новых высокопроизводительных и высокоточных методов производства обеспечивают возможность создания новых, более совершенных конструкций. Не случайно поэтому на передовых заводах нашей страны существует тесное содружество конструкторов и технологов при создании новых конструкций. Такое содружество обусловливает неуклонный рост советской техники и технологии машиностроения.

ПРИЛОЖ.. Е 1а

Смещение прутков, калиброванных по 5-му классу точности, при закреплении в цанге

Диаметр D в *мм*	Св. 6 до 10	Св. 10 до 18	Св. 18 до 30	Св. 30 до 50	Св. 50 до 80	Св. 80 до 100
Радиальное смещение в *мк*	50	60	70	90	100	120
Осевое смещение в *мк*	30	40	50	60	70	80

ПРИЛОЖЕНИЕ 1б

Смещение круглой горячекатаной стали повышенной точности прокатки при закреплении в самоцентрирующем патроне

Диаметр D в *мм*.	До 9	10—18	19—25	26—48	50—58	60—78	80—95	100—115	120—125	130—150
Радиальное смещение в *мк*	100	120	150	200	270	320	400	500	600	650
Осевое смещение в *мк*	70	80	100	130	180	210	270	330	400	430

ПРИЛОЖЕНИЕ 1в

Смещение круглой горячекатаной стали обычной точности прокатки при закреплении в самоцентрирующем патроне

Диаметр D в *мм*	До 19	20—25	26—48	50—56	58—78	80—95	100—115	120—150	Св. 150
Радиальное смещение в *мк*	200	220	280	350	400	450	570	700	900
Осевое смещение в *мк*	130	150	190	230	270	300	380	470	600

ПРИЛОЖЕНИЕ 1г

Средние значения смещения заготовок при закреплении в самоцентрирующем патроне

Характеристика поверхности, воспринимающей силу зажима	Диаметр закрепляемой поверхности D в *мм*							
	До 50	Св. 50 до 120	Св 120 до 260	Св 260 до 500	До 50	Св. 50 до 120	Св 120 до 260	Св :60 до 500
	Радиальное смещение заготовки в *мк*				Осевое смещение заготовки в *мк*			
Получена литьем в земляную форму машинной формовки	300	400	500	600	100	120	150	200
Получена литьем в постоянную форму	200	300	400	500	80	100	120	150
Получена литьем по выплавляемой модели и в оболочковую форму	100	150	200	250	50	80	100	120
Получена горячей штамповкой на молотах	300	400	500	600	100	120	150	200
Получена горячей штамповкой на кривошипных прессах	200	300	400	500	80	100	120	150
Предварительная обработанная	100	150	200	250	50	80	100	120
Чисто обработанная	50	80	100	120	30	50	80	100
Шлифованная	20	30	40	50	10	15	25	30

При обработке заготовок с одного установа, т. е. при неизменном закреплении заготовки, полученные значения погрешности установки ε_b принимать под первый технологический переход каждой из обрабатываемых поверхностей.

Для второго переход погрешность установки ε_b'' определять по формуле

$$\varepsilon_b'' = K\varepsilon_b' + \varepsilon_{инд},$$

где K — коэффициент уточнения; ε_b' — погрешность установки при первом переходе;

$\varepsilon_{инд}$ — погрешность индексации поворотного устройства (поворотного стола, шпиндельного барабана, револьверной головки и т. п.); среднее значение $\varepsilon_{инд} = 50$ *мк*.

При последующих переходах остаточная погрешность установки ничтожно мала и ею можно пренебречь, а учитывать только погрешность индексации.

При обработке плавающим инструментом погрешность индексации не учитывается.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1д

Смещение заготовок при закреплении в приспособлениях

а) При направлении силы зажима перпендикулярно опорной базирующей поверхности.

Характеристика поверхности	Осадка заготовки $\varepsilon_з$ в *мк*
Получена литьем в земляную форму машинной формовки и горячей штамповкой на молотах (черная поверхность)	100—150
Получена литьем в постоянную форму и горячей штамповкой на кривошипных прессах (черная поверхность)	75—100
Получена литьем в оболочковую форму и по выплавляемой модели	40—50
После черновой обработки	50—75
После чистовой обработки	10—15

б) При закреплении заготовок в приспособлениях тисочного типа зажимная сила направлена параллельно опорной базирующей поверхности и вызывает поворот заготовки. Вследствие значительной величины погрешности закрепления в приспособлениях тисочного типа этот метод установки применяется для заготовок, имеющих небольшую ширину.

в) При установке на магнитной плите погрешностью закрепления пренебрегают.

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

Погрешность установки заготовки с выверкой
(по данным тяжелого машиностроения)

Вид установки	Размеры заготовки в *м*		
	До 3	Св. 3 до 6	Св. 6
	Погрешность установки в *мм*		
С выверкой по разметке	±0,5	±1,0	±1,5
С выверкой по обработанной поверхности	±0,1	±0,2	±0,3
С выверкой по черной поверхности	±1,5	±2,0	±3,0

ПРИЛОЖЕНИЕ 3а

Значения $\left(\frac{l-x}{l}\right)^2$ $\left(\frac{x}{l}\right)^2$ $\frac{(l-x)^2 x^2}{l}$ в зависимости от расстояния x до резца от торца заготовки, находящегося у передней бабки при обработке в центрах на токарном станке

	0	0,1l	0,2l	0,3l	0,4l	0,5l
$\left(\frac{l-x}{l}\right)^2$	1	0,81	0,64	0,49	0,36	0,25
$\left(\frac{x}{l}\right)^2$	0	0,01	0,04	0,09	0,16	0,25
$\frac{(l-x)^2 x^2}{l}$	0	0,0081l^3	0,0256l^3	0,0441l^3	0,0576l^3	0,0625l^3
x	0,5l	0,6l	0,7l	0,8l	0,9l	1,0l
$\left(\frac{l-x}{l}\right)^2$	0,25	0,16	0,09	0,04	0,01	0
$\left(\frac{x}{l}\right)^2$	0,25	0,36	0,49	0,64	0,81	1
$\frac{(l-x)^2 x^2}{l}$	0,0625l^3	0,0576l^3	0,0441l^3	0,0256l^3	0,0081l^3	0

ПРИЛОЖЕНИЕ 3б

Ориентировочные значения податливости металлорежущих станков

Податливости одних и тех же типоразмеров станков как новых, так и находящихся в эксплуатации, колеблются в широких пределах, поэтому можно указать лишь ориентировочные значения податливости.

Податливость токарных станков [1]

Высота центров в *мм*	200	300	400
Податливость в *мк/кг*:			
передней бабки	0,20	0,13	0,10
суппорта	0,25	0,17	0,12
задней бабки	0,30	0,20	0,16
центров	0,20	0,15	0,10
патронов, навинчиваемых на резьбовой конец шпинделя при нагружении на плече 200 *мм*	1,4—0,7	1,2—0,6	0,4—0,2
Патронов с фланцевым креплением при нагружении на плече 300 *мм* .	—	—	0,3—0,2

[1] Нормы жесткости на станки токарные общего назначения см. ГОСТ 7895-56.

При изменении плеча нагружения податливость патрона изменяется, поэтому податливость патронов необходимо определять для различных плеч, на которых прикладывается сила резания.

При определении податливости бабок необходимо учитывать податливость центров при обработке в центрах и податливость патрона при консольном креплении заготовки, суммируя податливость бабки с податливостью центра или патрона.

Средняя суммарная податливость вертикальных многошпиндельных токарных полуавтоматов $W_{ст} = 0{,}5 \div 0{,}7$ *мк/кг*.

Средние суммарные значения податливости токарных прутковых автоматов: а) одношпиндельных $W_{ст} = 0{,}2 \div 0{,}3$ *мк/кг*, б) многошпиндельных $W_{ст} = 0{,}3 \div 0{,}4$ *мк/кг*.

Среднее суммарное значение податливости бесцентрово-шлифовальных станков $W_{ст} = 1$ *мк/кг*.

Податливость вертикально-фрезерных станков мод. 612 в *мк/кг*

Корпуса шпиндельного узла	0,18
Шпиндельного узла	0,20
Узла консоль — салазки — стол	0,01
Суммарная узлов станка	0,40

ПРИЛОЖЕНИЕ 3в

Ориентировочные значения жесткости (j) и податливости (W) металлорежущих станков

Средние значения суммарной жесткости и податливости металлорежущих станков:

1) продольно-фрезерного станка с размером стола 4,25 × 1,5 *м* $j = 2500$ *кг/мм*, $W = 0{,}4$ *мк/кг*;

2) карусельного станка с диаметром стола 3 *м* $j = 2800$ *кг/мм*, $W = 0{,}36$ *мк/кг*;

3) средние значения жесткости и податливости для узлов расточного станка мод. 2630 (с диаметром шпинделя 125 *мм*): а) стола у шпиндельной стойки $j = 18\,000$ *кг/мм*, $W = 0{,}06$ *мк/кг*; б) стола в наибольшем удалении от шпиндельной стойки $j = 12500$ *кг/мм*, $W = 0{,}08$ *мк/кг*; в) шпиндельной бабки $j = 18000$ *кг/мм*, $W = 0{,}06$ *мк/кг*; г) задней стойки $j = 1000$ *кг/мм*, $W = 1{,}0$ *мк/кг*.

Прогиб расточных скалок и оправок определяется расчетом в зависимости от составляющей силы резания P_y и прибавляется к суммарным отжатиям узлов станка (формулы для определения жесткости системы см. В. М. Кован „Расчет припусков на обработку в машиностроении", Машгиз, 1953 или сборник работ МВТУ, „Технология машиностроения", Машгиз, 1955, статья Б. Т. Бросалина).

ПРИЛОЖЕНИЕ 3г

Максимумы и минимумы суммарных отжатий упругой системы станок — заготовка ($Y_{сист.}$ в *мк*) в зависимости от податливости передней и задней бабок токарного станка и прогиба заготовки

	x	0	$0{,}1l$	$0{,}2l$	$0{,}3l$	$0{,}4l$	$C5l$	$06l$	$0{,}7l$	$0{,}8l$	$0{,}9l$	$1{,}0l$
1)	$Y_{сист.}$	27,3	25,7	$\frac{25{,}1}{\min}$	25,4	25,7	26,1	26,4	26,8	27,3	28,6	$\frac{30{,}8}{\max}$
2)	$Y_{сист}$	$\frac{30{,}8}{\max}$	28,6	27,3	26,8	26,4	26,1	25,7	25,4	$\frac{25{,}1}{\min}$	25,7	27,3
3)	$Y_{сист.}$	27,3	$\frac{26{,}4}{\min}$	26,8	28,9	30,4	$\frac{31{,}2}{\max}$	31,1	30,4	29,0	29,2	30,8
4)	$Y_{сист.}$	27,3	$\frac{26{,}4}{\min}$	26,8	28,6	29,9	$\frac{30{,}4}{\max}$	29,9	28,6	26,8	$\frac{26\,4}{\min}$	27,3
5)	$Y_{сист}$	$\frac{27{,}3}{\max}$	25,7	$\frac{25{,}1}{\min}$	25,1	25,2	25,3	25,2	25,1	$\frac{25{,}1}{\min}$	25,7	$\frac{27{,}3}{\max}$
6)	$Y_{сист}$	$\frac{27{,}3}{\max}$	26,0	$\frac{25{,}9}{\min}$	26,4	27,0	$\frac{27{,}3}{\max}$	27,0	26,4	$\frac{25{,}9}{\min}$	26,0	$\frac{27{,}3}{\max}$

Расчет отжатий системы произведен по формуле (29), приведенной к виду

$$Y_{сист.} = P_y\left[W_{суп.} + W_{п.б}\left(\frac{l-x}{x}\right)^2 + W_{з.б.}\left(\frac{x}{l}\right)^2 + 0{,}0062\cdot\frac{1}{d^3}\cdot\frac{(l-x)^2\,x^2}{l}\right],$$

где $0{,}0062\ \frac{1}{d^3} = \frac{1000}{3EJ} = \frac{1000\cdot 64}{3E\pi d^4} = \frac{1000\cdot 64}{3E\pi d\cdot d^3}$ при этом было принято $E = 2{,}2\cdot 10^4$ *кг/мм*^{2} и $J = \frac{\pi\cdot d^4}{64}$ При всех расчетах было принято: $P_y = 44$ *кг.*; $W_{суп} = 0{,}36$ *мк/кг*; $d = 50$ *мм*. Для расчета шести случаев $Y_{сист.}$ принималось:
1) $W_{п.б.} = 0{,}26$ *мк/кг*; $W_{з.б} = 0{,}34$ *мк/кг*; $x_{ст} = 0{,}433l < 0{,}5l$; $l = 300$ *мм*; $l : d = 6$.
2) $W_{п.б} = 0{,}34$ *мк/кг*; $W_{з.б} = 0{,}26$ *мк/кг*; $x_{ст} = 0{,}566l > 0{,}5l$; $l = 300$ *мм*; $l : d = 6$.
3) $W_{п.б} = 0{,}26$ *мк/кг*; $W_{з.б} = 0{,}34$ *мк/кг*; $x_{ст} = 0{,}433l < 0{,}5l$; $l = 400$ *мм*; $l : d = 8$.
4) $W_{п.б} = W_{з.б} = 0{,}26$ *мк/кг*; $x_{ст} = 0{,}5l$; $l = 400$ *мм*; $l : d = 8$.
5) $W_{п.б} = W_{з.б} = 0{,}26$ *мк/кг*; $x_{ст} = 0{,}5l$; $l = 300$ *мм*; $l : d = 6$.
6) $W_{п.б} = W_{з.б} = 0{,}26$ *мк/кг*. $x_{ст} = 0{,}5l$; $l = 345$ *мм*; $l : d = 6{,}9$

ПРИЛОЖЕНИЕ 4

Классификация и обозначения чистоты поверхности по ГОСТу 2789-51

Класс	Обозначения*	$H_{ск}$ в *мк*	$H_{ср}$ в *мк*	Оценка поверхностей классов 5—12 по $H_{ср}$
1	▽1	—	Св. 125 до 200	—
2	▽2	—	» 63 » 125	—
3	▽3	—	» 40 » 63	—

Продолжение прилож. 4

Класс	Обозначения	$H_{ск}$ в мк	$H_{ср}$ в мк	Оценка поверхностей классов 5—12 по $H_{ср}$
4	▽▽4	—	Св. 20 до 40	—
5	▽▽5	Св. 3,2 до 6,3	—	Св. 10 до 20
6	▽▽6	» 1,6 » 3,2	—	» 6,3 » 10
7	▽▽▽7	Св. 0,8 до 1,6	—	Св. 3,2 до 6,3
8	▽▽▽8	» 0,4 » 0,8	—	» 1,6 » 3,2
9	▽▽▽9	» 0,2 » 0,4	—	» 0,8 » 1,6
10	▽▽▽▽10	» 0,1 » 0,2	—	Св. 0,5 до 0,8
11	▽▽▽▽11	» 0,05 » 0,1	—	» 0,25 » 0,5
12	▽▽▽▽12	» 0,025 » 0,05	—	» 0,12 » 0,25
13	▽▽▽▽13	—	Св. 0,06 до 0,12	—
14	▽▽▽▽14	—	До 0,06	—

* По вновь утвержденному ГОСТ 2789-59 для обозначения всех 14 классов чистоты устанавливается один треугольник рядом с номером соответствующего класса, например, для 8-го класса: ▽8.

ПРИЛОЖЕНИЕ 5а

Классы точности и чистоты поверхности при обработке лезвийными инструментами

Виды обработки	Классы точности	Классы чистоты поверхности
Черновая обработка резцами	4—7	4—1
Черновая обработка цилиндрическими и торцовыми фрезами	4—5	5—3
Чистовая обработка резцами и фрезами [1]	3а—4	6—4
Тонкая обработка резцами и торцовыми фрезами	2—3	8—7
Протягивание наружное и внутреннее	2а—3а	7—6
Сверление	4—5	5—4
Развертывание	2—3а	8—6

[1] Чистовая скоростная обработка резцами и фрезами повышает чистоту поверхности на один класс.

ПРИЛОЖЕНИЕ 56

Классы точности и чистоты поверхности при обработке абразивными инструментами

Виды обработки	Классы точности	Классы чистоты поверхности
Шлифование [1]:		
однократное . .	3—2а	7—6
предварительное	3	7—5
чистовое	2а—2	8—7
тонкое	2—1	10—8
Притирочное шлифование	2—1	10—8
Притирка . .	1-й и выше	12—8
Отделочное шлифование . . .	Класса точности не повышают	13—9
Полирование абразивной лентой и мягким кругом с пастами .		12—8

[1] Скоростное шлифование повышает чистоту поверхности на один класс.

ПРИЛОЖЕНИЕ 5в

Классы точности и чистоты элементарных поверхностей деталей машин

Элементарные поверхности деталей машин	Классы точности	Классы чистоты
Посадочные шейки валов	5—1	4—9
Посадочные отверстия	5—1	4—8
Рабочие поверхности цилиндров	2—1	8—9
Конические притертые отверстия	2—1	8—9
Индексные пальцы и отверстия под них	2а—2	8—10
Конические отверстия под штифты	3—2	6—8
Шпоночные пазы и шпонки	4—2	5—7
Направляющие поверхности	—	7—8
Привалочные поверхности корпусных деталей	—	5—7
Несопрягаемые поверхности:		
а) выступающие наружу	—	5—7
б) не выступающие наружу	—	3—5
Плоскостные детали тяжелого машиностроения — отклонения от плоскостности 0,04—0,30 *мм* .	—	5—7

Примечание. Проф. М. О. Якобсон, анализируя взаимосвязь точности обработки и чистоты поверхности, установил приближенную зависимость $H_{ср} = C\delta$, (где δ — допуск на данный размер заготовки или детали) и числовые значения коэффициента C в пределах 0,05—0,12 для разных принятых им условно групп посадок для размеров от 6 до 250 *мм* [57, стр. 152].

ПРИЛОЖЕНИЕ 6

Значения коэффициента основного времени при обработке на металлорежущих станках

(составлено по опытным данным для обычных в производственных условиях режимов резания)

Вид обработки	Коэффициент
Отрезка дисковыми пилами и резцами	0,45—0,50
Центрование на центровальных станках	0,40—0,45
Фрезерование торцов и центрование на фрезерно-центровальных станках	0,50—0,55
Сверление на сверлильных станках	0,50—0,65
Зенкерование и развертывание на сверлильных станках	0,45—0,55
Обработка на токарных станках .	0,55—0,65
Обработка на фрезерных станках . . .	0,55—0,75
Непрерывное фрезерование на карусельных и барабанных фрезерных станках .	0,85—0,90
Обработка на круглошлифовальных и внутришлифовальных станках	0,6—0,8
Обработка на плоскошлифовальных станках	0,6—0,7
Обработка на протяжных станках	0,35—0,45
Зубонарезание	0,75—0,85
Резьбофрезерование	0,70—0,75

ИСТОЧНИКИ И ЛИТЕРАТУРА

К главе I. **Понятие об изделии и технологическом процессе в машиностроении**

1. «Машиностроение», Энциклопедический справочник т. 5. Машгиз. 1947
2. Справочник машиностроителя, т. 5, изд. второе. Машгиз, 1955.
3. Справочник технолога машиностроителя, т. 1. Машгиз, 1956.

К главе II. **Точность в машиностроении**

4. Андреев Г. С., О выборе охлаждающе-смазывающих жидкостей при обработке отверстий развертками. ЦНИИТМАШ, кн. 82, Исследования в области технологии обработки металлов резанием. Машгиз, 1957
5. Архангельский Л. А., О точности механизмов. Изд. МВТУ, 1951.
6. Ачеркан Н. С., Статистические методы контроля. Машгиз, 1946.
7. Балакшин Б. С., Размерные цепи и компенсаторы. Госмашметиздат, 1934.
8. Балакшин Б. С., Технология станкостроения. Машгиз, 1949.
9. Бородачев Н. А., Обоснования методики расчета допусков и ошибок размерных и кинематических цепей. АН СССР, 1946.
10. Бородачев Н. А., Анализ качества и точности производства. Машгиз, 1946.
11. Бруевич Н. Г. О точности механизмов. АН СССР, 1941.
12. Бруевич Н. Г., Точность механизмов. Техтеоретиздат, 1946.
13. Бруевич Н. Г., Основы теории точности механизмов и теория реальных механизмов. Изд. МВТУ 1951.
14. Быховский М. Л., Точность механизмов, у которых положения звеньев описываются дифференциальными уравнениями. Известия АН СССР, ОТН № 11, 1947.
15. Вотинов К. В., Жесткость станков. Лонитомаш, 1940.

16. Глухов Н. А., Влияние на точность сверления отверстия неперпендикулярности поверхности стола к оси шпинделя вертикально-сверлильного станка. Сборник работ МВТУ «Технология машиностроения». Машгиз, 1955.

17. Глухов Н. А., Влияние на точность сверления отверстий отклонения в равенстве углов наклона режущих кромок к оси сверла. Сборник работ МВТУ «Технология машиностроения». Машгиз, 1955.

18. Грановский Г И., Грудов П. П., Кривоухов В. А., Ларин М. Н., Малкин А. Я., Резание металлов. Машгиз, 1954.

19. Грановский Г. И., Металлорежущий инструмент. Машгиз, 1954.

20. Дьяченко П. Е. и Якобсон М. О. Качество поверхности при обработке металлов резанием. Машгиз, 1951.

21. Дьяченко П. Е., Исследование зависимости микрогеометрии поверхности от условий механической обработки. Изд. АН СССР, 1949.

22. Еникеев Х. М. и Броунштейн С. Я., Исследование жесткости станков шлифовальной группы. Труды ЭНИМС, 1949.

23. Зыков А. А., Применение закона больших чисел в системе допусков. «Вестник металлопромышленности» № 5 и 6, 1928.

24. Калашников Н. А., Точность в машиностроении и ее законы. Машгиз, 1950.

25. Калинин М. А., Исследование погрешностей обработки плоскостей на предварительно настроенных вертикально-фрезерных станках. Сборник работ МВТУ «Технология машиностроения». Машгиз, 1955.

26. Калинин М. А., К вопросу о постоянстве усилия при зажиме в пневматических тисках. Сборник работ МВТУ «Технология машиностроения». Машгиз, 1955.

27 Каширин А. И., Технология машиностроения. Машгиз, 1949.

28. Кован В. М., Технология автотракторостроения. Машгиз, 1938.

29. Кован В. М. Обработка автомобильных и тракторных деталей на металлорежущих станках. Госмашметиздат, 1933.

30. Кован В. М., Технология машиностроения. Машгиз, 1944.

31. Кован В. М. и Корсаков В. С., Исследование влияния технологических факторов на чистоту поверхностей, обработанных точением и шлифованием. Сборник работ МВТУ «Чистота и макрогеометрия поверхностей вращения «Машгиз, 1949.

32. Кован В. М. Классификация методов механической обработки металлов. Машгиз, 1941.

33. Кован В. М., Расчет припусков на обработку в машиностроении. Машгиз, 1953.

34. Кован В. М., Экономическая точность обработки деталей машин. Труды Московского автомеханического института им. М. В. Ломоносова, вып. 1, 1935.

35. Кован В. М. и Яхин А. Б., Теоретические вопросы технологии машиностроения. Машгиз 1939.

36. Кован В. М., Методы определения ожидаемой точности обработки. Сборник работ МВТУ «Технология машиностроения». Машгиз, 1955.

37 Косилова А. Г., Исследование процессов чистовой обработки поверхностей вращения без снятия стружки. Сборник работ МВТУ «Чистота и макрогеометрия поверхностей вращения». Машгиз, 1949.

38. Косилова А. Г К вопросу об определении установочного размера при настройке станков. Сборник работ МВТУ «Технология машиностроения». Машгиз, 1955.

39. Лонитомаш, кн. 11, Качество поверхности деталей машин. Машгиз, 1949.

40. Лонитомаш, кн. 16, Качество поверхности деталей машин. Машгиз, 1950.

41. Лонитомаш, кн. 26, Жесткость металлорежущих станков. Машгиз, 1952.

42. Маталин А. А., Конструкторские и технологические базы. Машгиз, 1959.

43. «Машиностроение», Энциклопедический справочник, т. 5. Машгиз, 1947.

44. «Машиностроение». Энциклопедический справочник, т. 7. Машгиз. 1948.

45. Семенов С. П., Влияние режима резания и геометрии резца на качество поверхности. «Вестник металлопромышленности», № 1, 1940.

46. Семенов С. П., Тонкая расточка цилиндров и гильз. Машгиз, 1949.
47. Скраган В. А., Производственный метод определения жесткости металлообрабатывающего оборудования. Машгиз, 1950.
48. Соколовский А. П., Курс технологии машиностроения, ч. 1. Машгиз, 1947.
49. Соколовский А. П., Расчеты точности обработки на металлорежущих станках. Машгиз, 1952.
50. Соколовский А. П., Научные основы технологии машиностроения Машгиз, 1955.
51. Соколовский А. П., Жесткость в технологии машиностроения. Машгиз, 1946.
52. Солодов М. Д., Исследование отжатий цепи шпиндель-пиноль токарных станков. Сборник работу МВТУ «Технология машиностроения». Машгиз, 1955.
53. Справочник технолога машиностроителя, т. II. Машгиз, 1956.
54. Суперфиниш, Сборник статей под редакцией проф. А. В. Панкина. Оборонгиз, 1940.
55. Терликова Т Ф., Точность обработки при однократном скоростном зенкеровании серого чугуна. «Вестник машиностроения», № 11, 1956.
56. ЦНИИТМАШ, кн. 44, Чистовая обработка конструкционных металлов. под ред. А. И. Исаева. Машгиз, 1951.
57. Якобсон М. О., Шероховатость, наклеп и остаточные напряжения при механической обработке. Машгиз, 1956.
58. Яхин А. Б., Анализ неточностей при обработке на металлорежущих станках. Труды ММИ им. Баумана, № 7/1, 1935.
59. Яхин А. Б., Проектирование технологических процессов механической обработки. Оборонгиз, 1946.
60. Maschinenbau, № 11 1928.

К главе III. **Характеристика технологических методов производства в машиностроении**

61. Гребенщиков М. Л., Гидропескоочистка. «Вестник машиностроения», № 11, 1955.
62. Доражио Г Н. и Санников Ю. К., Окраска промышленной продукции во Франции; по материалам заграничной командировки. ЦБТИ тракторного и сельскохозяйственного машиностроения. Москва, 1957.
63. Козловский П. С., Технология брейзинг-процесса. «Автомобильная промышленность» № 8, 1947.
64. Корона А. В., Влияние чистоты посадочных поверхностей на прочность сопряжений с натягом. Сборник работ МВТУ «Чистота и макрогеометрия поверхностей вращения». Машгиз, 1949.
65. Косилова А. Г., Исследование процессов чистовой обработки поверхностей вращения без снятия стружки. Сборник работ МВТУ «Чистота и макрогеометрия поверхностей вращения». Машгиз, 1949.
66. Ларионов Н. И. и Попов Б. В., Окраска изделий в поле высокого напряжения при помощи чашечных распылителей. «Технология автомобилестроения», № 4, 1958.
67. Лонитомаш, Качество поверхности металлов. Машгиз, 1950.
68. «Машиностроение». Энциклопедический справочник, т. 2. Машгиз, 1948.
69. «Машиностроение». Энциклопедический справочник, т. 7. Машгиз 1948.
70. «Машиностроение». Энциклопедический справочник, т. 6. Машгиз, 1947
71. Новиков М. П., Основы сборки машин и механизмов. Машгиз, 1955.
72. Рубцов Н. Н. Специальные виды литья. Машгиз, 1955.
73. Саверин М. М., Дробеструйный наклеп. Машгиз, 1955.
74. Слуцкая М. А., Окраска в электрическом поле высокого напряжения и основные положения для проектирования электроокрасочных установок. ЦБТИ НИИТракторсельхозмаш 1956.
75. Engineer, 1955, 200, № 5188, 7

76. Engineering, 1955, 180, № 4680, 515.
77. Finish, 1955, 12, № 2, 138.
78. Machinery NY, 1955, 61, № 9, 200.
79. Machinery NY, 1955, 61, № 11, 199.
80. Werkstadt und Betrieb, 1955, 88, № 3, 119—124.

К главе IV. **Расчет припусков на обработку и промежуточных размеров заготовок**

81. ГОСТ 1855-55. Отливки из серого чугуна. Допускаемые отклонения по размерам и весу и припуски на механическую обработку.
82. ГОСТ 2009-55. Отливки стальные фасонные. Допускаемые отклонения по размерам и весу и припуски на механическую обработку.
83. Долматовский Г. А., Справочник технолога. Машгиз, 1949.
84. Кован В. М., Технология автотракторостроения. НТИ, 1935.
85. Кован В. М., Технология автотракторостроения. изд. второе. Машгиз, 1938.
86. Кован В. М., Технология машиностроения. Машгиз, 1944.
87 Кован В. М., Припуски на обработку деталей машин. Справочник машиностроителя, т. 2. Машгиз, 1952.
88. Кован В. М., Расчет припусков на обработку в машиностроении. Машгиз, 1953.
89. «Машиностроение». Энциклопедический справочник, т. 7. Машгиз, 1948.
90. Плоткин И. В., Операционные припуски и допуски на механическую обработку. Машгиз, 1947.
91. Рабинович Б. В., Принципы проектирования металлических моделей для машинной формовки. Труды первой всесоюзной конференции работников модельных цехов. ВНИТОЛ, октябрь, 1940.
92. Соколовский А. П., Основы технологии машиностроения. Машгиз. 1938.
93. Соколовский А. П., Курс технологии машиностроения. Машгиз. 1947

К главе V. **Требования, предъявляемые технологией производства к конструктивному оформлению деталей и узлов машин**

94. Гельман А. С. Технологические основы конструирования сварных деталей и узлов машин. Справочник машиностроителя, изд. второе т. 5. Машгиз, 1955.
95. Мещерин В. Т., Чижов А. П., Кузнецов Д. П., Штампосварнопаяные детали автомобильного двигателя. «Вестник машиностроения» № 1. 1949.
96. Мещерин В. Т., Листовая штамповка. Справочник машиностроителя, изд. второе, т. 5. Машгиз. 1955.
97 Навроцкий Г. А., Холодная высадка деталей на прессах-автоматах. Справочник машиностроителя, изд. второе, т 5. Машгиз, 1955.
98. Справочник технолога машиностроителя, т. 1. Машгиз, 1956.
99. Сторожев М. В., Свободная ковка и объемная штамповка. Справочник машиностроителя, изд. второе, т. 5. Машгиз, 1955.
100. Шестопал В. М., Технологические основы конструирования литых деталей машин. Справочник машиностроителя, изд. второе. т. 5. Машгиз. 1955.
101. Автоматизация в машиностроении. Машгиз, 1957
102. ВПТИ, Рекомендации по выбору системы типизации технологических процессов 1957
103 Егоров М. Е., Основы проектирования машиностроительных заводов. Машгиз, 1954.

К главе VI. **Построение технологических процессов в машиностроении**

104. Митрофанов С. П., Научные основы групповой технологии. Лениздат, 1959.
105. Сасов В. В., Классификация и построение станочных операций в машиностроении. Автореферат кандидатской диссертации. МВТУ, 1950.

106. Справочник машиностроителя, изд. второе, т. 5. Машгиз, 1955.
107. Тиллес С. А., Экономика технологических процессов механической обработки. Машгиз, 1959.
108. Чихачев С. А., Оценка рентабельности технологического процесса механической обработки. Сборник работ Мосстанкина «Повышение производительности труда и точности обработки металлов». Машгиз, 1953

К главе VII. **Технология производства типовых деталей и узлов машин**

109. Дубровин Л. Н., Автомат для контроля и сортировки через 2,5 *мк* поршневых пальцев автомобиля «Москвич». «Технология автомобилестроения», № 3, НИИТАвтопром, 1956.
110. Новиков М. П., Основы сборки машин и механизмов. Машгиз, 1955.
111. Пути повышения производительности и точности при нарезании зубчатых колес, сборник III. Машгиз, 1954.
112. Пути повышения точности обработки зубчатых колес, сборник I. Машгиз, 1954.
113. Сергиенко В. А., Обработка крупных шлицевых отверстий. «Вестник машиностроения», № 9, 1956.

К главе VIII. **Перспективы развития технологии машиностроения**

114. Автоматизацяи процессов машиностроения. АН СССР, 1956.
115. Гошин С. А., Руденко Я. И., Автоматизация операций фрезерования. «Вестник машиностроения» № 10, 1956.
116. Демьянюк Ф. С., Технический прогресс в машиностроении. Изд. Знание, 1956.
117. Маханек М. Е., Полуавтомат для сборки конических подшипников. «Технология автомобилестроения» № 6, НИИТАвтопром, 1956.
118. Приходько Н. А., Арнольд Н. П. Автоматические линии для обработки ступенчатых валов. «Вестник машиностроения» № 5, 1956.
119. Справочник технолога машиностроителя, т. I. Машгиз, 1956
120. Machine Shop Magazine, 1956, March, v. 17.
121. Machinery, L, 1955, Apr. 15. v. 86, № 2213.
122. Raper of the American Society Mechanichl Engineers, 1956, 56-MD-2.
123. The Tool Engineer, 1956, Febr v. 36, № 2.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие 3
Введение 5

Глава I. **Понятия об изделии и технологическом процессе в машиностроении** 13

§ 1. Изделие и его элементы. 13
§ 2. Производственный и технологический процессы в машиностроении 18

Глава II. **Точность в машиностроении.** 27

§ 1. Производственные погрешности и способы получения заданных размеров 27
§ 2. Установка заготовок для обработки на станках. 33
§ 3. Расчет технологических допусков при обработке способом автоматического получения размеров. 56
А. Расчеты жесткости, податливости и отжатий технологической системы станок — заготовка — инструмент. 57
Б. Закономерность изменения погрешностей заготовок при обработке на металлорежущих станках 81
В Размерный износ инструмента. Влияние температурных деформаций элементов технологической системы на выдерживаемые размеры 94
Г. Расчет суммарной (результативной) погрешности обработки 99
Д. Пространственные отклонения взаимосвязанных элементов заготовок и деталей машин 112
§ 4. Особенности расчета погрешностей обработки при способе индивидуального получения размеров. 117
§ 5. Статистические методы исследования точности обработки. 121
§ 6. Качество поверхностей заготовок и деталей машин. 132

Глава III. **Характеристика технологических методов производства в машиностроении** 159

§ 1. Характеристика технологических методов производства деталей машин 159
А. Металлические детали машин. 160
Б. Металлокерамические детали машин. 222
В. Детали машин из пластмасс. 223
§ 2. Характеристика технологических методов сборки. 228

Глава IV. **Расчет припусков на обработку и промежуточных размеров заготовок** 266

§ 1. Расчет припусков при обработке способом автоматического получения размеров 266
§ 2. Расчет припусков при обработке способом индивидуального получения размеров 293

Глава V. **Требования, предъявляемые технологией производства к конструктивному оформлению деталей и узлов машин.** 307

§ 1. Требования, предъявляемые технологией сборки машин к конструктивному оформлению их элементов. 307
§ 2. Технологические требования, предъявляемые к конструктивному оформлению деталей машин. 315

Глава VI. **Построение технологических процессов в машиностроении.** 331

§ 1. Проектирование технологических процессов сборки. 331
§ 2. Проектирование технологических процессов производства деталей машин. 341
§ 3. Технико-экономический сравнительный анализ процессов механосборочного производства. 369

Глава VII. **Технология производства типовых деталей и узлов машин.** 390

§ 1. Технология производства типовых деталей машин 390
А. Общие сведения. 390
Б. Технология производства валов. 391
В. Технология производства втулок. 411
Г. Технология производства зубчатых колес. 417
Д. Технология производства рычагов 429
Е. Технология производства корпусов. 433
§ 2. Технология сборки типовых узлов машин 441

Глава VIII. **Перспективы развития технологии машиностроения** 454

§ 1. Пути повышения производительности труда 454
§ 2. Основные направления дальнейшего развития технологических методов машиностроительного производства. 475

Приложения 482

Источники и литература 490

Коган Виктор Михайлович

ОСНОВЫ ТЕХНОЛОГИИ МАШИНОСТРОЕНИЯ

Редактор издательства инж. *П. А. Кунин*

Технический редактор *В. Д. Элькинд*
Корректоры: *Кухарчик В. П. и Шикунова Е. К.*

Сдано в производство 18/V 1959 г. Подписано к печати 5/IX 1959 г Т-09081
Тираж 47 000 (2-й завод — 12 001—47 000) экз. Печ. л. 31,0 Уч.-изд л. 32,5
Бум. л. 15,5 Формат $60 \times 92^1/_{16}$

Отпечатано с матриц типографии № 6 УПП Ленсовнархоза
в 1-й тип. Изд-ва АН СССР, Ленинград, В. О. 9-я линия, д. 12
Зак. 336

ЗАМЕЧЕННЫЕ ОПЕЧАТКИ

Страница	Строка	Напечатано	Должно быть
81	4-я сверху	станках является	станках ΔY является
82	2-я снизу	$W_{сист} > \frac{\Delta Y_{ост}}{A\left[t^x - \left(t - \Delta_{ост}\right)^x\right]}$,	$W_{сист} > \frac{\Delta Y_{ост}}{A\left[t^x - \left(t - \Delta Y_{ост}\right)^x\right]}$,
90	15-я сверху	$C_{н\,min} = b - H_{ср} - Y_{min}$	$C_{н\,min} = b_{min} - H_{ср} - Y_{min}$
105	2-я снизу	Δ_D	ΔD
110	5-я сверху	на фиг. 89)	на фиг. 59)
161	17-я сверху	(до 56 *мм*)	(до 50 *мм*)
277	13-я снизу	$\rho_{кр}$	$\bar{\rho}_{кр}$
277	12-я »	$\rho_{эксц}$	$\bar{\rho}_{эксц}$
284	16-я »	(фиг. 135, *д*)	(фиг. 181, *д*)
292	16-я »	производственных	произведенных
300	8-я »	(стр. 295).	(стр. 296).
304	3-я »	(51а);	(52);
305	5-я сверху	с коэффициентом.	с коэффициентом 2.
387	16-я »	$\sum_{i=1}^{m} = И_н$,	$\sum_{i=1}^{m} И_н$,
391	14-я »	с центральным, гладким или	с центральным гладким или
394	5-я »	(137)	(73)
485	Приложение 3б, 4-я графа, 2-я снизу	0,4 — 0,2	0,4 — 0,3

Кован, зак. 336.