Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана
(МГТУ им.Н.Э. Баумана)

УДК 621.9.02 – 229

На правах рукописи

04200955686

Мешков Роман Борисович

СОКРАЩЕНИЕ ДЛИТЕЛЬНОСТИ ПОДГОТОВКИ ПРОИЗВОДСТВА ДЕТАЛЕЙ ПРИ СОВМЕЩЕННОМ КОНСТРУКТОРСКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМ ПРОЕКТИРОВАНИИ

05.02.08 – Технология машиностроения,
05.13.06 – Автоматизация и управление
технологическими процессами
и производствами (машиностроение)

Диссертация на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель
доктор технических наук,
профессор Кондаков А.И.

Москва – 2009

СОДЕРЖАНИЕ

стр.

ВВЕДЕНИЕ……..……..……..……..4

ГЛАВА 1. СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ МЕТОДОЛОГИЙ, ПРИМЕНЯЕМЫХ ПРИ ТЕХНИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКЕ ПРОИЗВОДСТВА МАШИН……..……8

1.1. Анализ современных методологий, используемых при технической подготовке производства машин……..…..8

1.2. Выводы по главе 1…..……..……..…....42

1.3. Предметная область и основные задачи исследования…….....……..……..43

ГЛАВА 2. ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ФОРМАЛИЗАЦИЯ КОНСТРУКЦИЙ ДЕТАЛЕЙ МАШИН……..…..45

2.1. Конструкторское представление предмета производства....45

2.2. Технологическое моделирование предмета производства...58

2.3. Выводы по главе 2…….....……...74

ГЛАВА 3. ГЕНЕРИРОВАНИЕ ВАРИАНТОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ПРИ СОВМЕЩЕННОЙ ПОДГОТОВКЕ ПРОИЗВОДСТВА ДЕТАЛЕЙ МАШИН…….....……..75

3.1. Вариантность технологических решений, формируемых при совмещенной подготовке производства деталей……..75

3.2. Исследование технологических моделей, формируемых при совмещенной разработке конструкции и маршрутного технологического процесса……..93

3.3. Выводы по главе 3……..……....110

стр.

ГЛАВА 4. РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ МАКЕТА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ СОВМЕЩЕННОЙ ПОДГОТОВКИ ПРОИЗВОДСТВА ДЕТАЛЕЙ МАШИН.....111

4.1. Разработка макета автоматизированной системы совмещенной подготовки производства.....111

4.2. Исследование макета автоматизированной системы совмещенной подготовки производства.....124

4.3. Выводы по главе 4.....136

ГЛАВА 5. ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ИСПОЛЬЗОВАНИЮ СОВМЕЩЕННОЙ ПОДГОТОВКИ ПРОИЗВОДСТВА В МАШИНОСТРОЕНИИ.....137

5.1. Практические рекомендации по организации совмещенной технической подготовки производства.....137

5.2. Практическая реализация методики совмещенной разработки оригинальных деталей (на примере сборочной единицы “червячный мотор-редуктор”) 148

5.3. Выводы по главе 5.....156

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ 157

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....159

Приложение 1. Каталог Т-комплексов.....172

Приложение 2. Эскизы деталей, выбранных для оценивания подобия технологических моделей.....181

Приложение 3. Конструкции некоторых тестовых деталей и данные длительности разработки.....188

Приложение 4. Конструкции некоторых деталей “червячного мотор-редуктора”.....195

Приложение 5. Акт внедрения методики совмещенной разработки....198

ВВЕДЕНИЕ

Конкуренция на рынке изделий машиностроения, сопровождающаяся их усложнением и ростом номенклатуры, требует сокращения длительности подготовки производства, что невозможно при использовании современных методологий ее организации. Наиболее перспективным направлением совершенствования технической подготовки производства машин с 80-х годов XX века является совмещенное (параллельное) проектирование, базирующееся на современных информационных технологиях. Совмещенное проектирование направлено на объединение процессов, связанных с разработкой изделия, в частности, конструкторской (КПП) и технологической подготовки производства (ТПП), что позволяет сократить длительность технической подготовки производства на 30…50% и существенно повысить качество формируемых проектных решений. Традиционная техническая подготовка производства современных машин, выполняемая с помощью систем автоматизированного проектирования конструкций (САПР-К) и технологических процессов (САПР ТП), сохраняет последовательный характер. Применение интегрированных систем отечественных и зарубежных разработчиков не позволяет полноценно реализовать совмещенное проектирование ввиду недостаточной разработанности его методического обеспечения.

Проблематика подготовки производства деталей машин, базирующейся на совмещенном проектировании, прежде всего, сводится к определению информации об их конструкции, минимально необходимой для формирования проектных технологических решений (ТР) при ТПП. Совмещенная подготовка производства на уровне деталей процедурно методически разработана недостаточно.

Существует актуальная научная задача сокращения длительности технической подготовки производства деталей машин, имеющая важное значение для машиностроения России. Наиболее перспективным путем ее решения явля-

ется применение совмещенного конструкторско-технологического проектирования. Сказанное делает тему представленной диссертационной работы актуальной.

Цель работы – сокращение длительности технической подготовки производства деталей машин.

Предметной областью работы является техническая подготовка производства деталей машин, инвариантно их классу, имеющих общемашиностроительное применение, для условий серийного производства. Процессы изготовления деталей машин включают, в основном, операции механической обработки резанием. Рассматривается выполнение этапов КПП и ТПП с использованием автоматизированных систем.

Научная идея работы: возможно автоматизированное формирование проектных ТР, связанных с разработкой технологического процесса (ТП) изготовления детали, на основе ограниченной (неполной) информации об ее конструкции.

Новизну идеи характеризуют:

– предложение рассматривать процесс конструирования деталей состоящим из этапов, выполнение которых позволяет формирование проектных ТР, ведущих к разработке маршрутного ТП (МТП);

– моделирование деталей совокупностью поверхностей, объединенных общностью технологии формообразования;

– возможность разработки МТП, обеспечивающего необходимые эксплуатационные свойства и производственно-технические показатели качества детали, при неполной и уточняемой во времени информации об ее конструкции;

– переход к новой организационной форме технической подготовки производства.

Научная новизна работы заключается в выявлении связей между конструкторскими и технологическими проектными решениями, допускающих совмещение во времени этапов технической подготовки производства деталей.

Разработан метод представления конструкции детали. Установлено отсутствие противоречивости между ТР, формируемыми на основе ограниченной и полной информации о конструкции детали. Разработан и программно реализован макет автоматизированной системы совмещенной подготовки производства. Доказана возможность сокращения длительности по сравнению с последовательной подготовкой производства деталей. Установлены границы эффективного применения совмещенной подготовки производства для деталей машиностроения.

Получены новые научные результаты, выносимые на защиту:

– методика представления конструкций деталей машин при совмещенной подготовке производства;

– методика совмещенного формирования конструкций деталей и МТП их изготовления;

– макет автоматизированной системы совмещенной подготовки производства;

– рекомендации по использованию совмещенной подготовки производства при разработке деталей машин.

Практическая ценность работы состоит:

– в создании методической базы для разработки автоматизированных систем, допускающих совмещенную подготовку производства деталей и обеспечивающих сокращение ее длительности;

– в возможности пересмотра традиционных подходов к подготовке производства деталей машин;

– в применимости результатов для дальнейшего исследования процессов формирования проектных решений в технической подготовке производства машин;

Работа состоит из введения, пяти глав, общих выводов, списка литературы и приложений.

Первая глава посвящена анализу современных методологий, применяемых при технической подготовке производства машин, определению цели, основных задач и предметной области исследования.

Во второй главе представлены результаты разработки метода представления деталей при совмещенной подготовке их производства. Определены основные стадии представления конструкций деталей и соответствующих им технологических моделей, направленных на создание МТП.

Третья глава посвящена рассмотрению вопросов генерирования и исследования вариантов технологических моделей, формируемых при совмещенной подготовке производства. Показана возможность формирования технологических моделей, не противоречащих общемашиностроительным правилам, на основе неполной информации о конструкции детали, приводящих к построению МТП, пригодного для реализации в производстве.

В четвертой главе изложены результаты разработки и исследования макета автоматизированной системы совмещенной подготовки производства. Приведены результаты тестирования макета на реальных деталях машиностроения, демонстрирующие границы эффективного применения указанной системы для сокращения длительности этапов конструирования деталей и разработки МТП.

В пятой главе приведены практические рекомендации по использованию совмещенной подготовки производства. Изложена инженерная методика совмещенной разработки конструкций оригинальных деталей сборочных единиц и МТП их изготовления. Приведены результаты реализации методики на примере сборочной единицы “червячный мотор-редуктор”, демонстрирующие сокращение длительности по сравнению с последовательным использованием автоматизированных систем подготовки производства.

Работа выполнялась на кафедре “Технология машиностроения” МГТУ им. Н.Э. Баумана в 2006…2009 г.г.

ГЛАВА 1. СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ МЕТОДОЛОГИЙ, ПРИМЕНЯЕМЫХ ПРИ ТЕХНИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКЕ ПРОИЗВОДСТВА МАШИН

1.1. Анализ современных методологий, используемых при технической подготовке производства изделий машиностроения

Повышение конкурентоспособности изделий машиностроения требует сокращения длительности технической подготовки производства, объединяющей КПП и ТПП, при обеспечении высокого качества проектных решений, что соответствует основной тенденции машиностроительного производства (рис. 1.1) [1].

Совершенствованию процессов, выполняемых при технической подготовке производства, а также изменению традиционных форм ее организации способствует применение информационных технологий. Оснащение специалистов, занятых в подготовке производства, персональными компьютерами, начиная с 80-х годов XX века [2] позволило переход от неавтоматизированного проектирования к автоматизированному [3], предполагающему частичную или полную замену деятельности инженера средствами САПР [3,4]. По прогнозам, в 21 веке до 80% изделий машиностроения будут разрабатываться с применением САПР [2]. Высшей формой применения САПР на машиностроительных предприятиях считают создание компьютерно-интегрированных производств (КИП), использование интегрированной поддержки в жизненном цикле изделия (ЖЦИ) [2] и совмещенного проектирования [2,5]. Последнее направлено на создание единой методической базы выполнения различных задач в ЖЦИ, прежде всего, при КПП и ТПП. Применение совмещенного проектирования в подготовке производства позволило на предприятиях США и Японии сократить ее длительность до 30…50% (рис. 1.2), а брак изделий – на 87% [5].

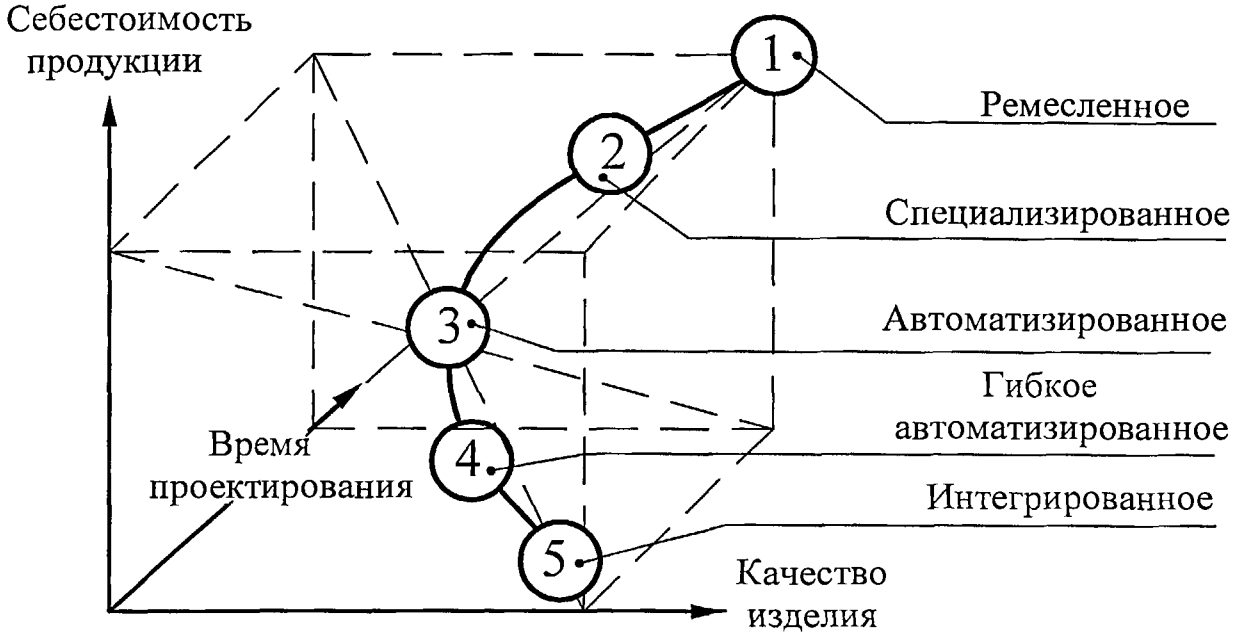


Рис.1.1 Изменение показателей конкурентоспособности для основных стадий развития производства

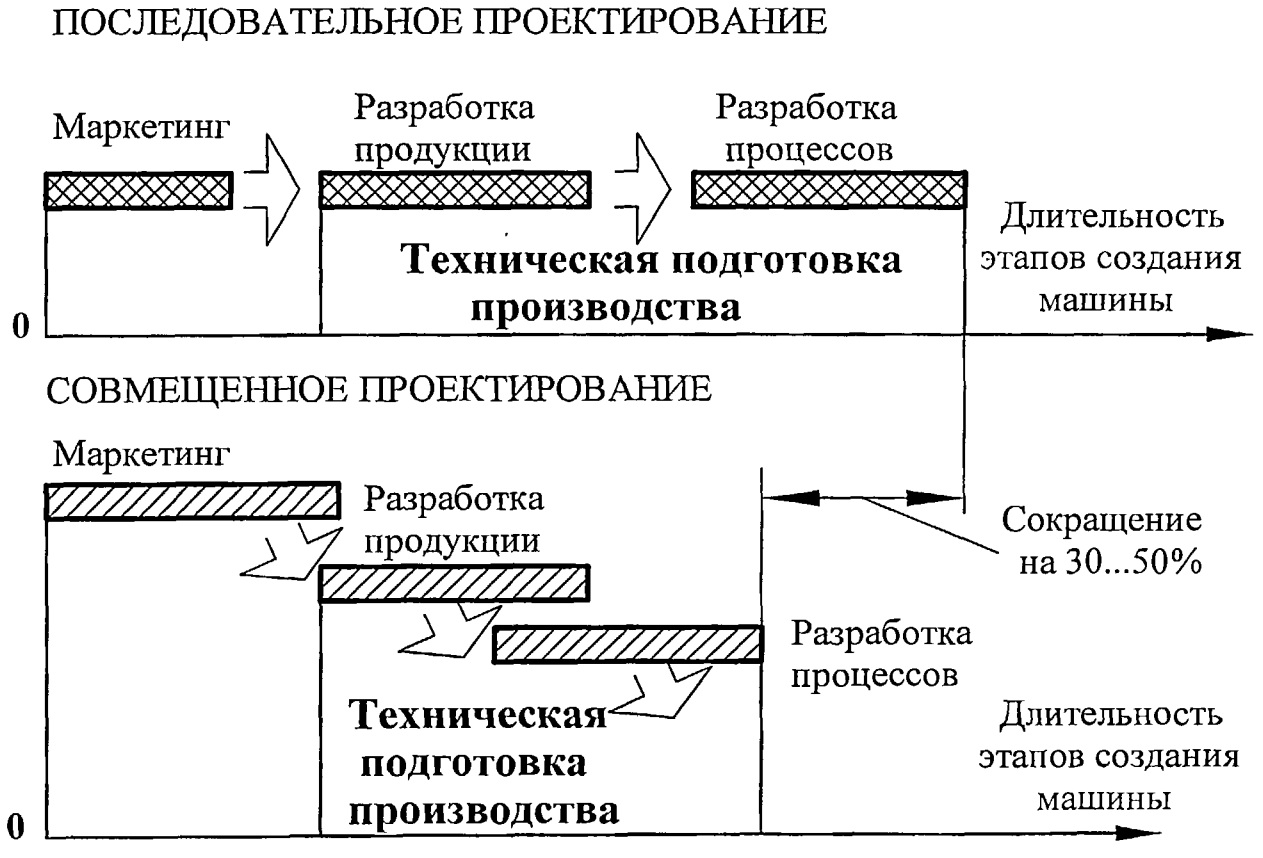


Рис.1.2 Сокращение длительности технической подготовки производства при совмещенном проектировании

Совмещенное проектирование должно основываться как на существующем опыте предприятий в разработке конструкций, ТПП и производстве изделий машиностроения, так и применении информационных технологий и САПР.

Современные машины – сложные технические системы [6,7], основными структурными элементами которых являются комплексы, сборочные единицы и детали [8]. Разработка конструкции изделия машиностроения, отвечающей современному уровню качества, представляет собой многовариантный и итерационный процесс [6], переводящий требования заказчика в установленные характеристики изделия, нормативную или техническую документацию. Для сокращения длительности КПП и обеспечения требуемого уровня качества разработаны стандарты и положения, определяющие порядок создания машин и ставшие основой для единой системы конструкторской документации (ЕСКД) [8].

Разработка конструкций машин традиционно выполняется после маркетинга [9] и, согласно стандартам ЕСКД, состоит из следующих стадий [8]: техническое задание, техническое предложение, эскизный проект, технический проект, рабочая конструкторская документация (КД). Переход от одной стадии КПП к другой выполняют по завершении оформления необходимого комплекта КД и направлен на постепенную детализацию описания конструкции: от идеи и основных характеристик (показателей работоспособности) до конструкций отдельных деталей. На рис. 1.3 представлено ориентировочное соотношение объемов информации, создаваемой и обрабатываемой на различных стадиях КПП при создании сложных машин, состоящих не менее, чем из 40...50 сборочных единиц [10].

Разработка новых изделий, в значительной степени, является результатом творческой деятельности конструктора. Рядом исследователей изложены закономерности формирования проектных решений и этапы описания конструкций машин. Основные подходы, описывающие деятельность конструктора при КПП, представлены в табл. 1 [6,7,11,12,13].

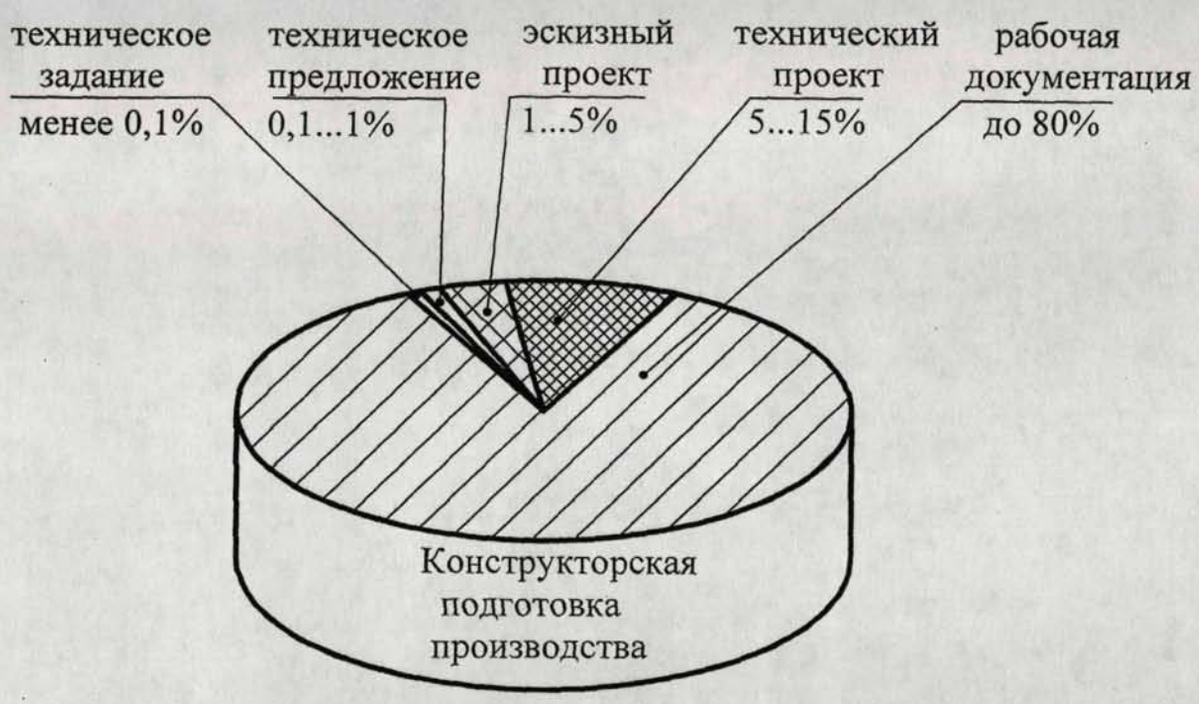


Рис.1.3 Ориентировочное соотношение объемов информации, создаваемой и обрабатываемой на стадиях КПП

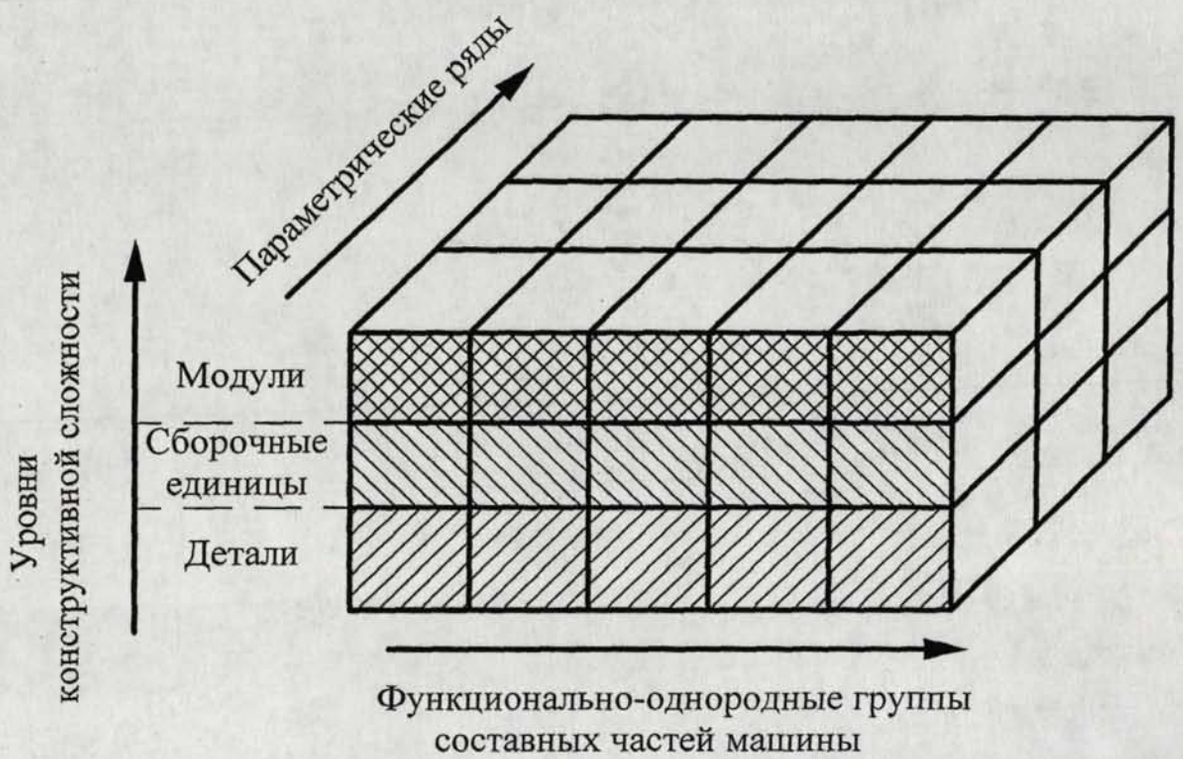


Рис.1.4 Модель структуры функционально-модульной конструкции машины

Таблица 1.

Подходы к представлению проектно-конструкторского процесса при создании машин [6,7,11,12,13]

Исследователь	Этапы конструкторского проектирования	Характеристика этапов
Диксон Дж.	Изобретательство	Получение новых идей
	Инженерный анализ	Построение и анализ моделей решения задач
	Принятие решений	Выбор наилучшего варианта решения
Хубка В.	Оценка осуществимости	Анализ исходных данных
	Эскизное проектирование	Отбор вариантов и разработка оптимальной конструкции
	Рабочее конструирование	Описание конструкции с учетом требований эксплуатации и производства
Ханзен Ф.	Проектирование	Творческое предопределение устройства
	Концептирование	Проработка и обоснование выбранной конструкции
	Конструирование	Определение технического устройства
Орлов П.И.	Выбор конструкции	Выбор параметров и основной схемы изделия
	Эскизное компонование	Выбор кинематической и силовой схем, формы деталей
	Техническое компонование	Разработка рабочей компоновки и уточнение конструкции
	Рабочее компонование	Окончательная проработка изделия, узлов и деталей, оформление КД
Прохоров А.Ф.	Техническое задание	Разработка основных параметров
	Проектирование	Выбор или изобретение принципа действия машины
	Концептирование	Предварительная проработка конструкции
	Эскизное констурирование	Разработка вариантов конструкции
	Техническое проектирование	Выбор и окончательная проработка КР
	Оформление	Оформление КД

Представленные подходы являются общеметодологическими и направлены на реализацию замысла конструктора. На практике при КПП используют следующую последовательность создания машин и сборочных единиц [14]:

1) анализ общих сведений (область применения, основные параметры);

2) установление основных геометрических параметров;

3) анализ условий работы (разработка кинематических и силовых схем);

4) анализ возможных отказов и причин их возникновения;

5) анализ показателей работоспособности;

6) выбор материалов деталей;

7) выполнение расчетов по главным показателям работоспособности;

8) разработка конструкции;

8) учет технологии изготовления деталей или сборки машины;

9) оформление КД.

Разрабатываемые в ходе КПП детали машин должны отвечать заданным показателям их эксплуатационного качества [14] при наименьших производственных затратах. Это требует при КПП разработки максимального числа вариантов и их анализа, для выбора оптимальной конструкции [6].

Традиционно при КПП разработку ведут “сверху-вниз” в последовательности: машина; сборочные единицы; детали. Сокращению длительности КПП способствует использование методов, облегчающих разработку конструкций изделий, например, стандартизации и унификации [13, 15]. Последняя направлена на установление рационального числа разновидностей изделий. При унификации машин используют [13] создание унифицированных и размерно-подобных рядов; применение единого базового агрегата; агрегатирование.

Применение унификации в КПП позволяет в 2…3 раза уменьшить объем выпускаемой КД, в 1,5…2 раза сократить длительность разработки и в 3…5 раз количество изменений КД [15]. При создании машин используют унифицированные сборочные единицы (редукторы, электродвигатели и пр.). В свою очередь, при конструировании сборочных единиц применяют унификацию и стандартизацию деталей (например, болтов, гаек, манжет), а при разработке конструкций деталей – унификацию конструктивных элементов (фасок, отверстий, резьб), допусков и посадок соединений [15, 16]. Совокупность последних образует единую систему допусков и посадок. Совершенной с точки зрения затрат на изготовления и времени разработки считают конструкцию изделия, число

унифицированных деталей которого составляет 20...40% от их общего числа [16].

Для сокращения длительности КПП и облегчения выбора типовых узлов и изделий-аналогов применяют конструирование с использованием каталогов [17]. Конструктивная преемственность при КПП [13, 15] позволяет использовать опыт предприятий отрасли и выражается в создании типовых конструкций, а также применении модульного принципа [18, 19]. Принцип модульности предполагает компоновку машин из функционально и конструктивно независимых единиц (модулей, агрегатов). Длительность КПП сложных, например, колесных машин или металлорежущих станков за счет их компоновки из независимых агрегатов сокращается до 3...4 раз. [20]. Этим объясняется тот факт, что конструкции современных станков с ЧПУ строят по модульному принципу с уровнем унификации узлов и деталей до 80% [21]. Структуру машины, построенной по модульному принципу, иллюстрирует рис. 1.4 [21]. При разработке сборочных единиц в составе машин необходимо использовать модульность и учитывать необходимость увязки узлов и агрегатов между собой [22].

Для сборочных единиц ответственного назначения, важным этапом их разработки является составление силовых схем, анализ инерционных моментов, проведение инженерных расчетов по основным показателям работоспособности. В частности, для авиационных двигателей, обязательным является обеспечение таких показателей, как виброустойчивость [22], вероятность отказов [16].

Обеспечению эксплуатационного качества сборочных единиц и машин способствует достижение заданных эксплуатационных свойств их деталей (износостойкости, коррозионной стойкости, усталостной прочности и др. [23]). В свою очередь, каждая деталь является пространственным телом, ограниченным совокупностью поверхностей [24].

Рядом исследователей [24, 25] проведена классификация поверхностей деталей (рис. 1.5). В качестве исходных данных для разработки детали принимают [26] компоновку сборочной единицы, характер и вид сопряжений (поса-

док), условия эксплуатации. Конструирование деталей машин после выполнения необходимых расчетов (кинематических, прочностных и др.) [26, 27] предполагает выбор марки материала; разработку геометрической формы; установление размерных связей и допусков; расчет массы. Для придания необходимой геометрической формы последовательно задают размеры и взаимное положение рабочих поверхностей, вспомогательных и основных баз, а также связующих поверхностей [28].

Достаточную информацию о детали, как объекте эксплуатации, содержит представление ее конструкции совокупностью исполнительных поверхностей [24] (рис. 1.6). Геометрическую форму детали образуют соединением ее исполнительных и связующих поверхностей и заданием требуемых размерных связей.

Для обеспечения служебного назначения детали в изделии ее поверхности должны обладать требуемым набором эксплуатационных свойств. Традиционно обеспечение эксплуатационных свойств поверхностей заключается в нормировании группы показателей геометрической точности (размера, формы и расположения поверхностей), параметров поверхностного слоя [23, 29] по доступным справочным данным, например [30, 31].

На сегодняшний день, разработаны основные правила создания машин, способствующие обеспечению их эксплуатационного качества, инвариантные режиму проектирования и используемые в КПП машин различного назначения. Применение САПР-К изменяет форму представления информации об изделии: бумажная форма заменяется электронным описанием конструкции [2]. Традиционная последовательность разработки деталей является объективной, позволяет их создание в составе изделий при обеспечении требуемого эксплуатационного качества. Разработка деталей в условиях совмещенного проектирования требует совершенствования методов их представления с целью ускорения подготовки производства, но без потери качества создаваемой машины.

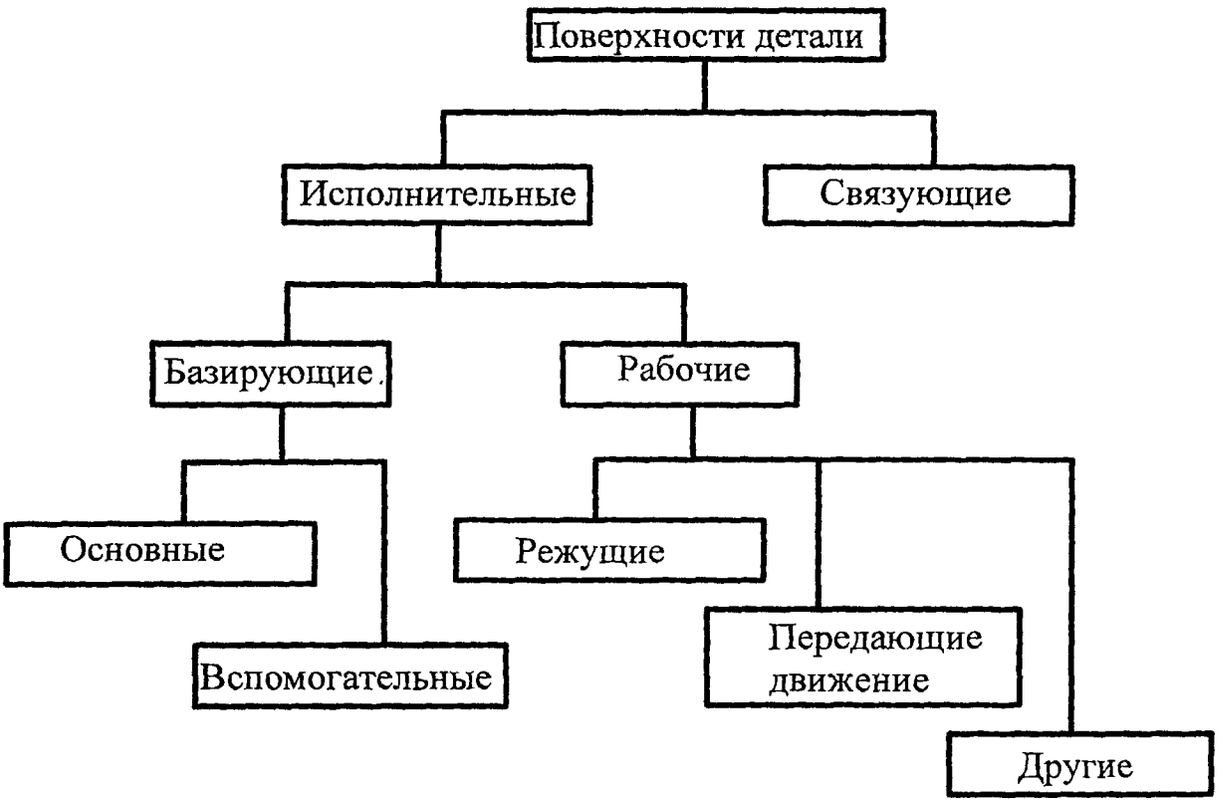


Рис.1.5 Классификация поверхностей деталей машин

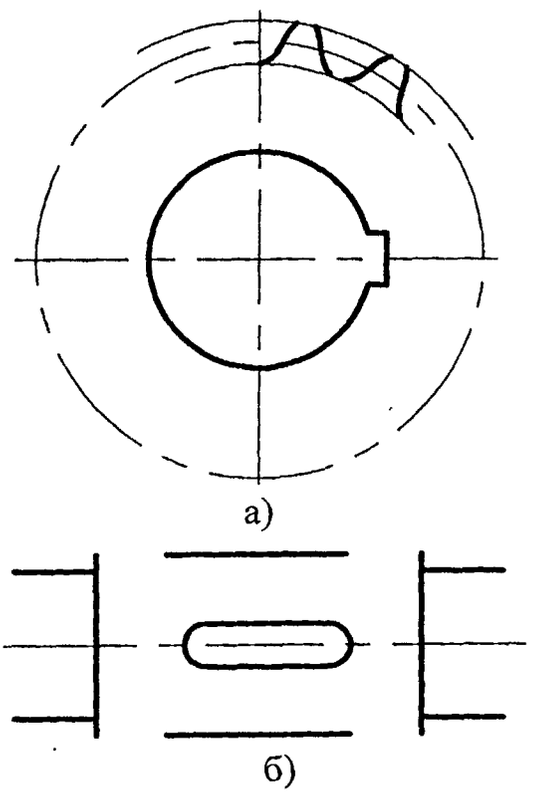


Рис.1.6 Представление деталей машин совокупностью исполнительных поверхностей: а) зубчатое колесо; б) вал

При неавтоматизированном проектировании состояние разрабатываемого изделия в ходе КПП фиксировалось созданием чертежей [2, 32] и инженерными расчетами, а оформляемая КД представлялась в бумажной форме [2]. В балансе трудозатрат конструктора при неавтоматизированной КПП изделий 75% времени отводилось на вычерчивание, 15% – на проведение расчетов и 10% – на ведение архива [16], что обусловило сначала разработку, а затем и внедрение САПР-К, позволяющих ускорить графическое отображение конструкций.

Рабочая КД на изделие (сборочные чертежи, рабочие чертежи деталей, технические условия и пр.) относится к базовой информации для ТПП. Традиционная (последовательная, каскадная) трактовка ЖЦИ [9, 33] предполагает начало ТПП после окончания КПП машины или ее отдельных агрегатов. Для неавтоматизированной КПП характерна иерархия проектных работ, выполняющихся “сверху-вниз”, начинающихся от формирования компоновочной схемы изделия и заканчивая оформлением рабочих чертежей оригинальных деталей. Бумажная форма представления КД существенно затрудняла внесение изменений в конструкции, а взаимодействие между исполнителями (конструкторами и технологами) начиналось после полной готовности комплекта КД.

Значительный вклад в становление научных основ технологии машиностроения и обеспечение производственно-технических показателей качества машин и деталей при их производстве внесли работы А.П. Соколовского, В.М. Кована, В.С. Корсакова, Б.С. Балакшина, М.П. Новикова, А.И. Каширина, С.П. Митрофанова и других ученых. Профессорами В.М. Кованом и А.П. Соколовским разработан расчетно-аналитический метод оценки точности механической обработки заготовок [23, 34].

С целью обеспечения производства изделий заданного количества, отвечающих требуемому уровню качества, в соответствии с заданными технико-экономическими показателями, разработаны стандарты, объединенные в единую систему ТПП (ЕСТПП) [35, 36].

К основным функциям ТПП относят [34, 37] анализ технологичности конструкции, выбор и подготовку заготовок, разработку МТП, проектирование средств технологического оснащения (СТО), контроль и управление ТП. Длительность ТПП в зависимости от типа производства и отрасли составляет 25...70% [38] от суммарной длительности технической подготовки производства (рис. 1.7). Разработка ТП и проектирование СТО являются наиболее трудоемкими функциями, составляя соответственно около 30% и 40% от суммарной трудоемкости ТПП [37, 39] (рис. 1.8).

Важнейшей функцией ТПП является обеспечение технологичности конструкции изделия [34, 40]. Анализ технологичности конструкции направлен как на выявление ошибок, допущенных при КПП, так и на совершенствование конструкции с целью достижения минимальных затрат при производстве и эксплуатации [34].

При неавтоматизированном проектировании по завершении КПП выполняли технологический контроль КД, сопровождающийся значительным числом итераций и приводящий к увеличению длительности подготовки производства. Показано [2, 5], что обеспечение технологичности на ранних стадиях разработки позволяет существенно сократить длительность технической подготовки производства. Раннее обнаружение ошибок в конструкциях сборочных единиц и деталей ведет к снижению затрат на их исправление (рис. 1.9, а) и повышению качества создаваемой машины (рис. 1.9, б) [2].

При выборе заготовок деталей машин анализируют КД по множеству признаков [41] (форма детали, заготовительные свойства материала, удельная стоимость материала и др.). Способ изготовления выбирают на основе конфигурации детали, с учетом технологических свойств выбранных марок материала и технико-экономического анализа [41].

Анализ технологичности конструкции и выбор заготовок предшествуют выполнению главной функции ТПП – разработки ТП изготовления деталей и сборки сборочных единиц и изделий. Технологические процессы изготовления

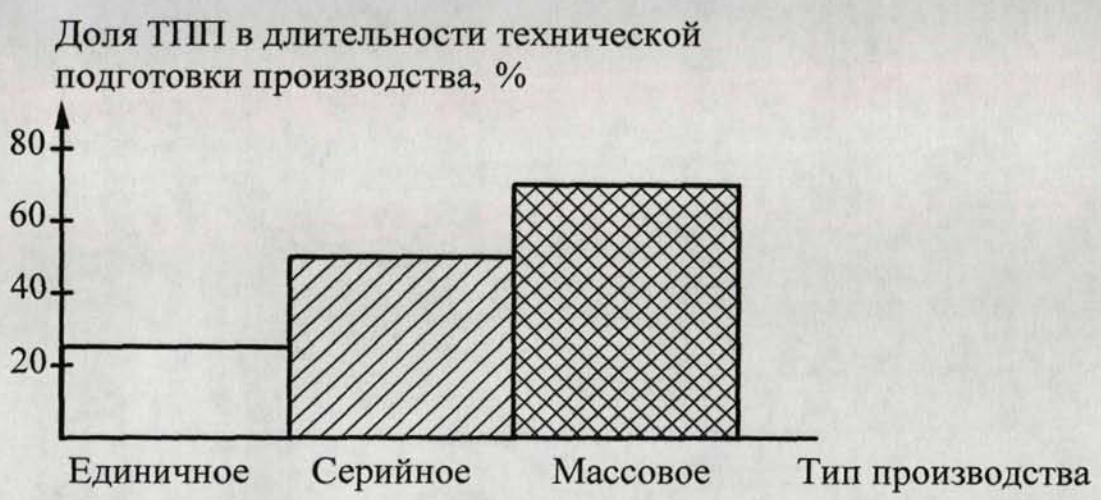


Рис.1.7 Доля ТПП в длительности технической подготовки производства

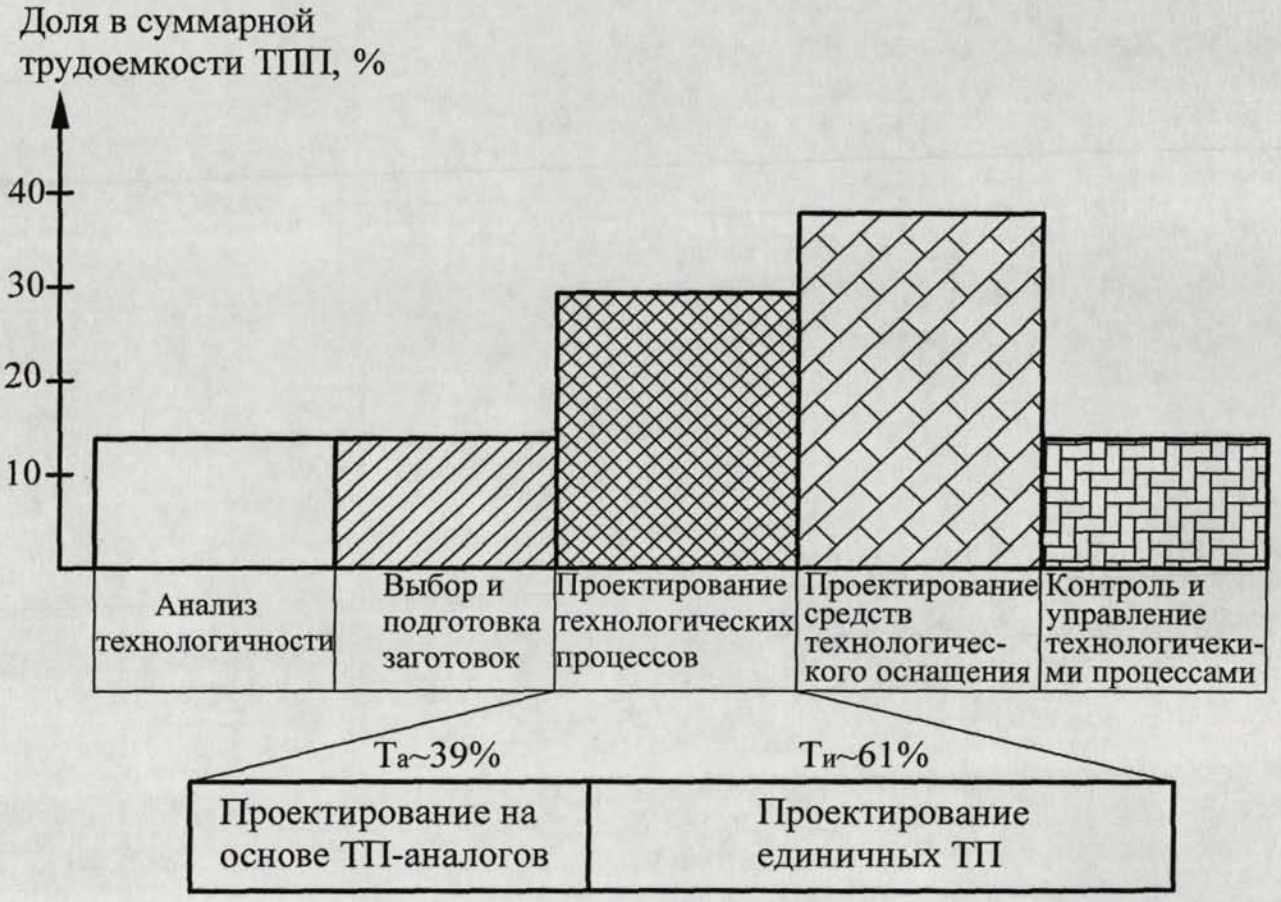


Рис.1.8 Оценка трудоемкости основных функций ТПП и функции проектирования ТП

Рис.1.9 Влияние времени обнаружения ошибки на затраты на ее исправление (а) и качество машины (б)

Рис.1.10 Этапы неавтоматизированной разработки единичных ТП изготовления деталей машин

деталей разделяют на единичные, типовые и групповые [34, 39].

Единичные ТП разрабатывают для оригинальных деталей изделия. Этапы разработки единичных ТП изготовления деталей представлены на рис. 1.10 [39]. Основной носитель информации о технологии изготовления оригинальной детали – МТП, представленный последовательностью технологических операций, результатом выполнения которых является фиксированное состояние предмета труда [37, 39]. Состав МТП определяет список технологических операций, а список технологических переходов – состав технологической операции. Структуру МТП определяет порядок выполнения технологических операций, а структуру технологической операции – порядок выполнения переходов [37]. Для сокращения длительности разработки многообразие ТП ограничивают.

Идея типизации ТП, предложенная проф. А.П. Соколовским [34], реализуется в два этапа: классификацию деталей машин с выделением классов, групп, подгрупп, типов и их кодированием; разработку типового ТП, характеризующегося общностью содержания и последовательности большинства технологических операций для группы изделий с общими конструктивными и технологическими признаками. Использование типовых ТР (ТП, маршрутов обработки поверхностей и др.), характерное для предприятий крупносерийного и массового производства, позволяет снизить трудоемкость разработки на 30…35% [20] по сравнению с разработкой единичного ТП.

Профессором С.П. Митрофановым предложен метод групповой обработки деталей машин [35, 36]. В основе метода – технологическая классификация заготовок, позволяющая формировать группы изделий, характеризующиеся общностью типов оборудования и СТО, необходимых для обработки заготовки в целом или отдельных ее поверхностей. Групповой ТП – процесс обработки заготовок различной формы на специализированных рабочих местах в последовательности изготовления определенной группы изделий [35]. Достоинством групповой технологии является снижение трудоемкости и затрат на переналад-

ку оборудования, повышение его загрузки, например, станков с ЧПУ до 2...3 раз [35]. На ряде предприятий групповыми ТП удавалось охватить до 90% номенклатуры выпускаемых деталей [35], сократить трудоемкость проектирования СТО.

В работах проф. А.М. Дальского [23, 42, 43] исследованы явления технологической наследственности и ее влияния на надежность высокоточных соединений и деталей машин. Носители наследственной информации (материал детали, поверхностный слой) активно участвуют в ТП и могут частично или полностью менять свои свойства, проходя через технологические операции. В частности, показано [23] на величину отклонения от круглости после шлифования при одинаковых условиях обработки влияют свойства материала заготовок, а на формирование шероховатости при лезвийной обработке влияют параметр Rz и колебание поверхностной микротвердости исходной поверхности [23]. Закономерности технологического наследования используют при разработке МТП изготовления и сборки прецизионных изделий [42, 43].

При подготовке производства наукоемких изделий машиностроения (ракет, авиационных двигателей и пр.) [44, 45], предложена идея формирования конструкторско-технологических решений (КТР), охватывающих совокупность показателей эффективности конструкции изделия и директивного ТП его изготовления. Для КТР характерно взаимное влияние показателей конструкции и ТП: изменение конструкции вызывает применение нового ТП, с другой стороны, переход к новому директивному ТП вызывает корректировку конструкции. Областью применения КТР являются изделия высокой степени ответственности, где необходима жесткая привязки параметров конструкции к параметрам директивного ТП с целью обеспечения эксплуатационного качества. В условиях многономенклатурного производства эффективность формируемых и реализуемых КТР значительно снижается.

Выполнение функций неавтоматизированной ТПП и, прежде всего, разработку МТП начинают после получения комплекта КД и данных о предпола-

гаемом объеме выпуска деталей. При создании машин, состоящих из отдельных агрегатов, допустимо совмещение этапов КПП и ТПП на уровне машины: например, для колесных машин, КПП двигателя и ТПП шасси, могут, в принципе, выполняться независимо и совместно. Возможна укрупненная отработка сборочных единиц, находящихся в стадиях эскизного или технического проекта, на технологичность [10]. Однако неавтоматизированная подготовка производства и бумажное представление ее результатов не позволяли совмещенную во времени разработку конструкций и ТП отдельных деталей.

Современный уровень САПР, в том числе используемых на передовых российских предприятиях, характеризуется использованием интегрированных систем поддержки этапов ЖЦИ [46, 47]. Значительный вклад в научное исследование проблем автоматизированного проектирования при КПП внесли работы И.П. Норенкова, Р.А. Аллика, В. Хубки, В.П. Быкова, А.И. Половинкина, П.Хилла, Ф.Л. Краузе и других ученых [48]. Целью ряда исследований стала разработка формализованного описания процесса проектирования для полной замены деятельности проектировщика [49, 50] средствами САПР. Подходы, изложенные в [49, 50], характеризуются сложностью математического аппарата, необходимого для их реализации, значительным числом допущений, высоким уровнем абстрагирования. На сегодняшний день разработка САПР, предполагающих полное исключение инженера-проектировщика из процесса создания изделия, представляется затруднительной.

В настоящее время при КПП используются САПР-К, включающие следующие программные компоненты [37, 51, 52, 53]: системы автоматизированного расчета и анализа (CAE-системы); системы автоматизированного конструирования (CAD-системы).

Современные САПР-К зачастую объединяют перечисленные программные компоненты в виде CAE/CAD-систем, использующих двумерное и трехмерное геометрическое моделирование изделий [37]. В трехмерном моделировании различают поверхностное, твердотельное и каркасное [37]. На первом

этапе внедрения САПР-К, реализующих двумерное моделирование, таких как “AutoCAD”, “T-Flex 2D”, на 30% увеличивается производительность труда конструкторов за счет ускорения вычерчивания и модификации изделий. По мере использования библиотек созданных конструкций производительность возрастает до 50% и впоследствии длительность КПП сокращается до 2...3 раз [16]. Аналогичное сокращение возможно при использовании САПР-К, реализующих трехмерное моделирование, таких, как зарубежные программные комплексы [53, 54]: “Solid Works”, “Autodesk Inventor”, “CATIA”, “Pro/Engineer”, “Unigraphics”; и отечественные разработки: “T-Flex 3D”, “Компас 3D”, “ADEM CAD”.

Результаты проектирования в системах САПР-К – трехмерные электронные модели изделия (твердотельная, поверхностная или каркасная) [55] и разработанные на их основе двумерные модели деталей. В CAE-системах анализируют трехмерные модели, например, путем расчета напряжений и деформаций методами конечных или граничных элементов [51]. Трехмерная модель, в отличие от традиционного чертежа, является однозначным представлением геометрии и состава детали или сборочной единицы.

Преимущества трехмерных моделей: визуализация; ассоциативность; возможность их многократного использования; возможность их передачи в системы подготовки управляющих программ. В САПР-К используют библиотеки стандартных деталей и двумерные параметрические библиотеки конструктивных элементов (фасок, центровых отверстий, шпоночных пазов и пр.) [52, 54].

Предложена модель инвариантного представления информации об объектах разработки (машинах, сборочных единицах), для всех этапов ЖЦИ [56]. Формальное и инвариантное описание модели обеспечивает возможность ее использования главным конструктором предприятия для решения таких задач, как планирование КПП, анализ и синтез полученных решений и др.

Процедурная модель для автоматизированного выполнения этапов технического задания и технического предложения представлена в [57]. Модель пре-

дусматривает последовательное определение потребности в разработке, целей, определение основных признаков будущего изделия, поиск, принятие и анализ проектного конструкторского решения. Разработанный программно-методический комплекс позволяет конструктору в автоматизированном режиме оценивать варианты конструкций в диалоговом режиме. Авторами [56, 57] данных об изменении длительности КПП при внедрении предложенных методов не приводится.

В [58] изложен подход к автоматизированной поддержке решения таких задач КПП, как экспертный анализ конструкций машин (на примере вакуумных агрегатов), оценка их технического уровня, определение областей эксплуатации. В его основе – разделение технико-экономических характеристик разрабатываемой машины на две иерархически построенные группы (эффективность и затраты). Разработанная на основе данного подхода система "САПФИР" позволяет оценку вариантов и определение областей применения изделий на примере вакуумных насосов.

Наиболее сложной задачей является реализация автоматического синтеза технических объектов [59], в том числе изделий машиностроения. Авторами [59] предложен интеллектуальный метод синтеза технических объектов (ТО). Сущность предлагаемого метода – в выполнении процедуры генерирования сложных ТО, например, машин, из конечного множества составляющих элементов. Совокупность знаний, обеспечивающих синтез ТО, включает информацию о структуре и элементом составе объекта, свойствах элементов и их сочетаний, допустимости сочетания элементов [59]. Знания представляют в виде совокупности предикатов (отношений), описывающих элементы объекта, а также правил формирования альтернативных вариантов.

В [60] предложен поход к автоматизации параметрического синтеза ТО. На первом этапе синтеза формируется функциональная модель ТО методами структурного анализа (Structured Analysis and Design Technique, SADT), на втором – база знаний на основе системологии инженерных знаний [61]. На заклю-

чительном этапе параметрического синтеза выполняют генерацию альтернатив и выбор наилучшего варианта ТО. Результаты синтеза (параметры ТО) передают в САПР-К для их подстановки в параметрическую трехмерную модель или чертеж.

Исключительная сложность разработки методического и математического обеспечений, в частности, представленных в [59, 62] объясняет отсутствие на сегодняшний день полноценных автоматизированных систем синтеза изделий машиностроения.

Для создания конструкций в САПР-К целесообразно использовать необходимую элементную базу (библиотеки типовых решений, узлов, деталей, конструктивных элементов), существенно облегчающих поиск новых решений. Если такой элементной базе поставить в соответствие множества свойств, относящихся к другим предметным областям (ТПП, эксплуатация и др.), то ее можно использовать для одновременного решения различных задач в ЖЦИ.

Начиная с 60-х годов XX века стали разрабатываться и совершенствоваться методы автоматизированной разработки ТП. Профессором В.Д. Цветковым предложена методология системно-структурного моделирования и выделены [63, 64] следующие группы методов автоматизированного проектирования ТП: алгоритмический анализ типовых и групповых процессов; преобразование процессов-аналогов; многоуровневый итерационный метод синтеза. Последний характеризуется последовательно возрастающей степенью детализации проектных ТР. Выделены [64] следующие уровни синтеза ТП: маршруты обработки поверхностей; принципиальная схема (табл. 2); маршрут обработки детали; операционная технология; управляющая программа для станка с ЧПУ.

В работах [65, 66] изложена теория автоматизации технологического проектирования, состоящая из формализованного описания предметной области технологии машиностроения и формальной теории процесса проектирования. Предлагается формировать ТР на основе доказательства технологических теорем при использовании аппарата математической логики. Для представленной в

Таблица 2.

Принципиальная схема синтеза МТП (по Цветкову В.Д., [63, 64])

Номер этапа	Наименование	Назначение и достигаемые параметры
Э1	Заготовительный	Получение заготовки и термообработка
Э2	Черновой	Съем лишних напусков и припусков
Э3	Термический 1	Термообработка: улучшение, старение
Э4	Получистовой 1	Точность: IT11…13, Ra2,5
Э5	Термический 2	Цементация
Э6	Получистовой 2	Съем припуска для предохранения от цементации
Э7	Термический 3	Закалка, улучшение
Э8	Чистовой 1	Точность: IT6…7, Ra1,25
Э9	Термический 4	Азотирование, старение
Э10	Чистовой 2	Съем припуска для предохранения от азотирования
Э11	Чистовой 3	Точность: IT5, Ra0,16
Э12	Гальванический	Хромирование, никелирование и др.
Э13	Доводочный	Ra0,04

[65,66] теории характерна сложность процедур синтеза ТП и определенная субъективность технологических аксиом.

В [67] рассмотрены вопросы создания автоматизированных систем ТПП, основанных на использовании типовых решений. Автоматизированная разработка ТП предусматривала декомпозицию детали и кодирование информации, а основой ее информационного обеспечения служила информационно-поисковая система [67]. Инструментами для автоматизированного выбора вариантов ТР, например, процессов-аналогов или маршрутов обработки поверхностей, служили таблицы соответствия, описывающие множества, связи и условия существования ТР, в основе которых находилось соответствующее математическое обеспечение.

Проф. С.П. Митрофанов выделяет при автоматизированном проектировании ТП методы адресации и синтеза [68]. Метод адресации может выполняться на основе заимствования единичного ТП у детали-аналога, либо использования ТП-аналогов (типовых и групповых). Предложено несколько модификаций метода адресации: без изменения структуры ТП-аналога и параметрической на-

стройки; без изменения структуры ТП-аналога, но с параметрической настройкой; с исключением элементов и связей и с параметрической настройкой.

Проф. Н.М. Капустиным [69, 70] показано, что для автоматизированного проектирования единичных ТП можно использовать обобщенный маршрут изготовления деталей. Обобщенный маршрут представляет собой упорядоченную совокупность оригинальных операций, входящих в единичные ТП изготовления деталей типа, применяемые на конкретном предприятии. При использовании обобщенного маршрута на его основе выполняют структурный синтез ТП из счетного множества вариантов [69].

На сегодняшний день созданы САПР ТП, в основном, реализующие в диалоговом режиме прямое проектирование (документирование) единичного ТП [71], а также использующие ранее созданные и содержащиеся в базе данных процессы-аналоги. Большинство современных САПР ТП, таких, как “TechnologiCS”, “ТехноПро”, “T-Flex/Технология”, “Компас-Автопроект”, “TECHCARD” позволяют выполнять разработку единичных ТП изготовления деталей и сборки с использованием баз данных процессов-аналогов или типовых технологических операций и переходов [37, 72].

В [39] предложена методика автоматизированного синтеза МТП изготовления деталей, предполагающая отказ от копирования действия технолога-проектировщика и использование в качестве элементарной единицы, на основе которой формируется ТП, технологического метода. Основные стадии автоматизированного синтеза [39]: геометрическо-технологическое моделирование предмета производства; генерирование и селекция маршрутов обработки; синтез (макетирование и корректировка) МТП; оценка, оптимизация ТР; оформление технологической документации.

Профессором Б.М. Базровым [24, 73, 74] предложен модульный принцип разработки ТП изготовления деталей. В конструкции детали на основе ее рабочего чертежа выделяются модули поверхностей, представляющие собой сочетание поверхностей, с помощью которого деталь выполняет ту или иную слу-

жебную функцию (например, передачу крутящего момента). Группа модулей поверхностей, изготавливаемых по одному модулю ТП, формирует интегральный модуль поверхностей. При разработке модульных ТП деталь разбивается на множество интегральных модулей поверхностей. Операции компонуются из типовых или унифицированных ТП изготовления каждого интегрального модуля с учетом индивидуальных особенностей конструкции детали. Модульное представление детали позволяет понизить размерность задачи разработки ТП, а также унифицировать элементы описания ее конструкции.

В [75] представлен метод автоматизации ТПП на основе декомпозиции детали на множество локализованных поверхностей, каждой из которых соответствует набор имеющихся на конкретном предприятии СТО, необходимых для ее формообразования (фрагментов типовых ТП). В основе данного подхода лежит применение типовых ТР и традиционное использование в качестве исходной информации о детали ее рабочего чертежа. Общие подходы к построению современных систем автоматизации ТПП, изложенные в [76, 77], рассматривают разработку ТП как отдельную задачу и не предусматривают возможность одновременно формировать конструкции деталей. Схему информационных потоков при традиционной (последовательной) технической подготовке производства иллюстрирует рис. 1.11 [38].

В [78, 79] изложены вопросы разработки интегрированной САПР гибких производственных систем, в основе которой – процесс формирования КТР, обеспечивающий интеграцию разработки конструкции детали и ТП изготовления. Недостаток использования КТР в САПР, тот же, что и при неавтоматизированном проектировании, – слабая эффективность в условиях многономенклатурного производства, за исключением специальных отраслей машиностроения (авиастроение, ракетостроение и пр.) [44].

Существующие подходы к автоматизированной разработке ТП подразумевают наличие полной информации о геометрической форме детали и предъявляемых требованиях. Возможность начала разработки МТП при неполной

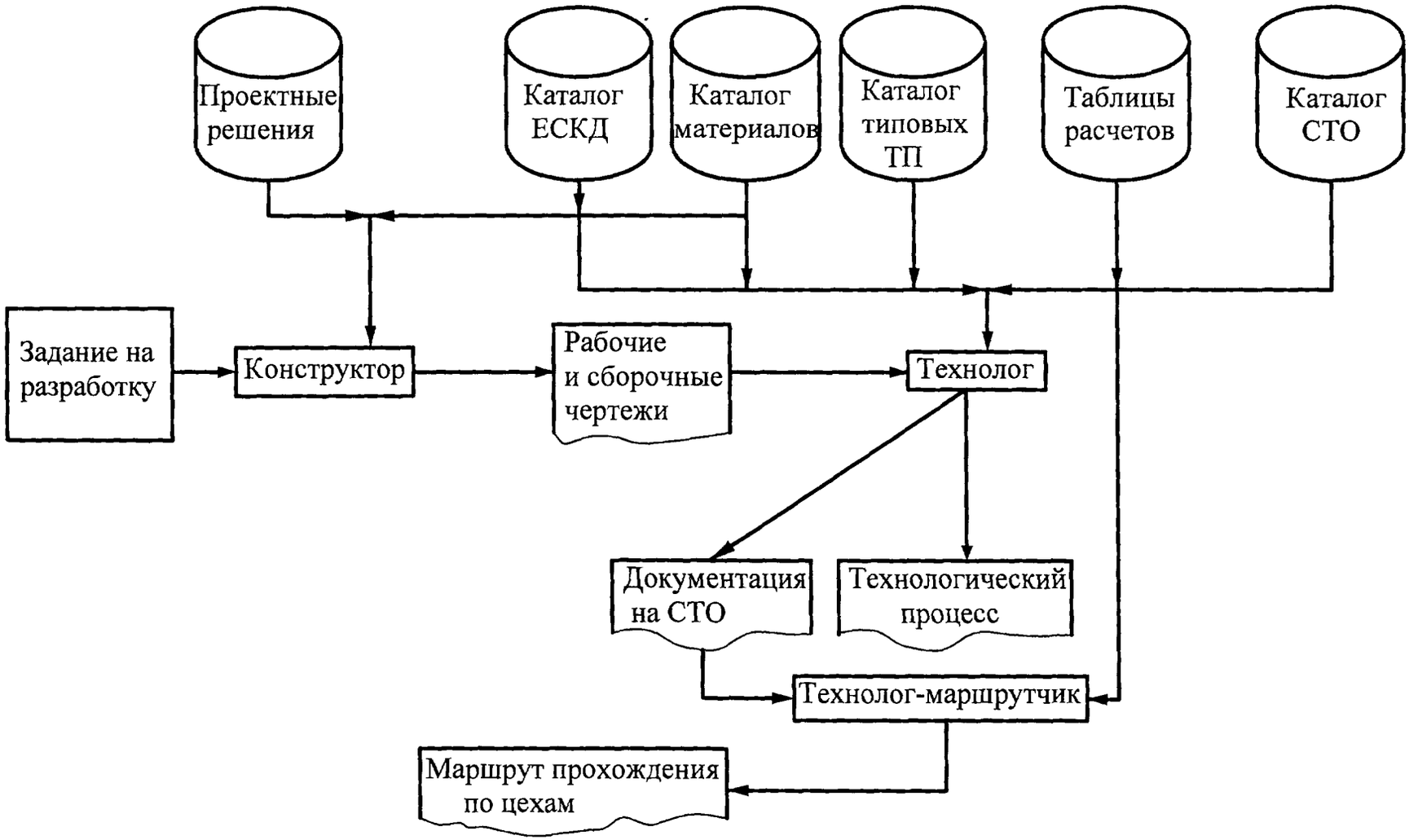


Рис.1.11 Информационные потоки при традиционной организации технической подготовки производства

информации о конструкции не рассматривается, поскольку противоречит общепринятым стандартам и правилам ТПП. Между тем, использование совмещенного проектирования в подготовке производства должно быть основано на формировании ТР при ограниченной информации о детали (или изделии). Только тогда возможно сокращение длительности разработки, раннее обнаружение и устранение ошибок, снижение брака в готовых изделиях.

При автоматизированной ТПП используют следующие программные компоненты, относящиеся к САПР ТП [2, 37]: автоматизированная технологическая подготовка производства (САМ-системы); автоматизированное проектирование ТП изготовления деталей (САРР-системы); автоматизированное проектирование процессов сборки (СААР-системы).

Основные функции САМ-систем сосредоточены на подготовке управляющих программ для токарных, фрезерных и сверлильно-фрезерно-расточных, электроэрозионных станков с ЧПУ [80]. В качестве исходных данных для САПР ТП используют трех- и двумерные электронные модели деталей, созданные в САПР-К. Инструментом для интеграции указанных систем выступают CALS-технологии. Их фундаментом является система международных стандартов, направленных на унификацию описания и анализа данных [81, 82]. Центральное место отводится стандарту ISO 10303 (Standard for the Exchange of Product Model Data, STEP), базирующемуся на использовании специального языка EXPRESS для компьютерного представления и обмена данными об изделии. Использование CALS-технологий в технической подготовке производства позволяет реализовать системную интеграцию САПР-К и САПР ТП и обеспечить эффективный обмен информацией [83] об изделиях и ТП. Интегрированные САПР (CAD/CAE/CAM/CAPP-системы) позволяют передачу (импортирование) трехмерных моделей и чертежей деталей и сборочных единиц для создания управляющих программ для станков с ЧПУ и разработки ТП.

Использование CALS-технологий позволяет реализовать концепции “сквозного” проектирования [84, 85] и быстрого прототипирования (Rapid

Prototyping) [86, 118]. В подготовке производства изделий сложной геометрической формы (планеров самолетов, корпусов ракет и пр.) за счет использования трехмерных геометрических моделей стал возможен переход от шаблонно-плазового метода к бесплазовому. Преимущества “сквозного” проектирования, обеспечивающего доступ к трехмерным моделям деталей всех участников КПП и ТПП, демонстрирует использование системы “Pro/Engineer” [87] (рис. 1.12).

Схема организации совмещенного проектирования в технической подготовке производства на ФГУП “ОКБМ им. И.И. Африкантова” показана на рис. 1.13 [88]. Совмещение процессов КПП и ТПП достигается за счет разработки “сквозного” ТП специалистами различных технологических служб (механическая обработка, сварка), участия технологов в отработке изделия на технологичность, использовании трехмерных моделей деталей для формирования управляющих программ параллельно с утверждением и нормоконтролем электронной КД.

Использование CALS-совместимых систем подготовки производства на предприятиях США, по оценкам экспертов [84], позволило сократить затраты при КПП на 10…30%; время создания изделия – в 1,5…2 раза; время ввода изделия на рынок – на 25…75%; долю брака – на 23…73%; затраты при подготовке документации – на 40%.

Будучи эффективным инструментарием для интеграции систем подготовки производства, CALS-технологии необходимо использовать при создании систем, реализующих совмещенное проектирование.

Разработчики системы “ТехноПро” (фирма “Вектор-Альянс”) реализовали параметрическое проектирование ТП [37]. Разработка ТП сводится к адаптации его имеющейся параметрической модели, играющей роль аналога, к конструктивно-технологическим характеристикам конкретной детали, корректированию и редактированию единичного ТП. Недостаток данного подхода: изменение параметров конструкции детали может существенно влиять не только на параметры, но и на структуру формируемых ТР. В частности, существенное из-

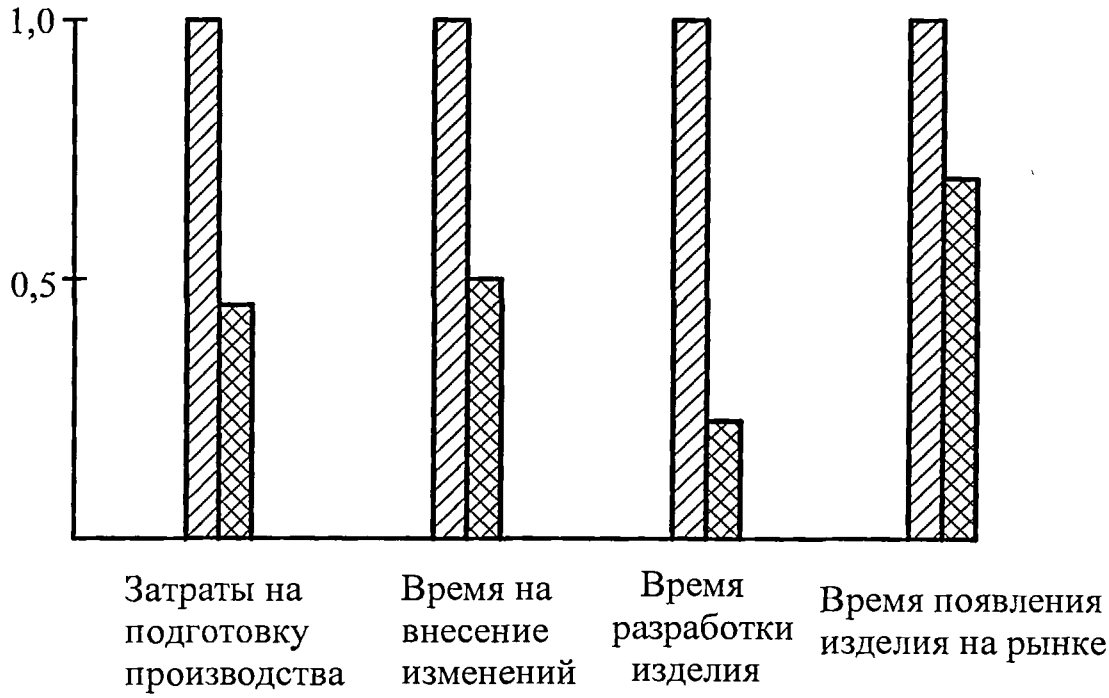


Рис.1.12 Показатели эффективности технической подготовки:
при использовании частичной автоматизации;
при "сквозной" подготовке производства на основе программного комплекса Pro/Engineer

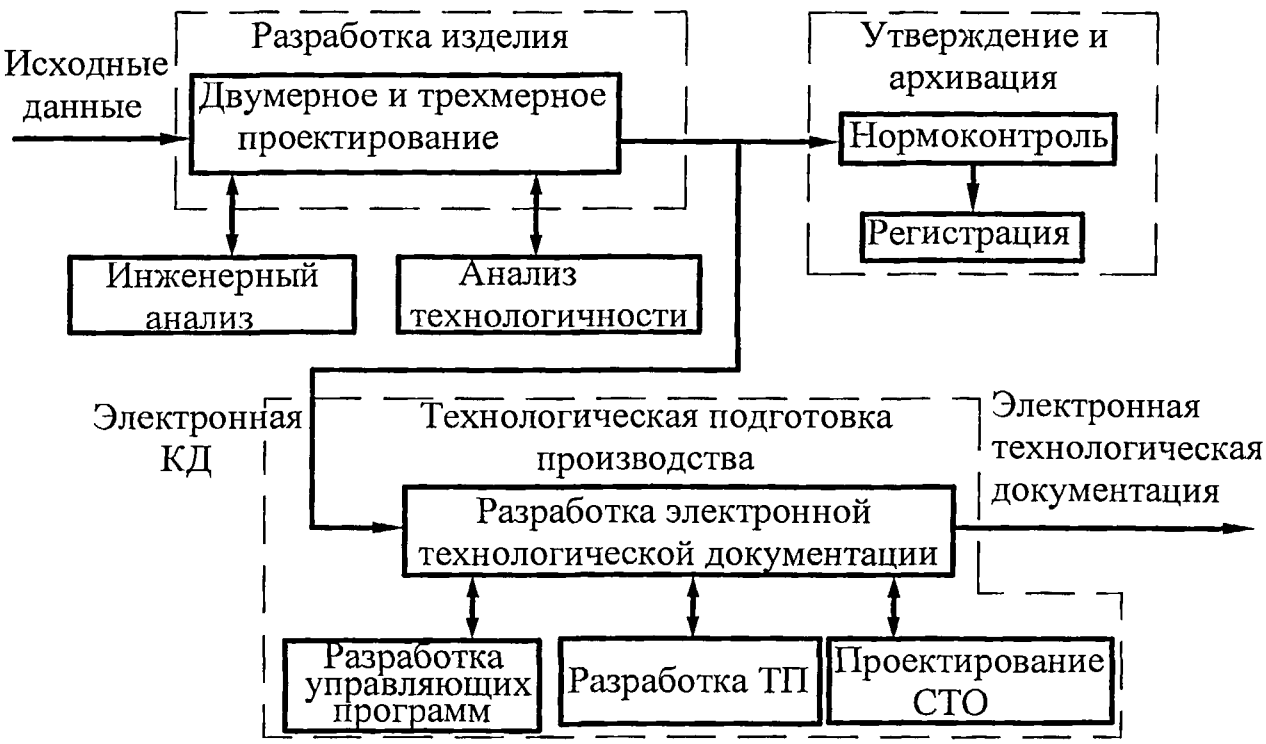


Рис.1.13 Схема "сквозной" автоматизированной технической подготовки производства на ФГУП "ОКБМ им. И.И. Африкантова"

менение длины заготовки неизбежно приведет к смене схемы установки (СУ) для обеспечения необходимой жесткости технологической системы.

Ни одна из существующих на сегодняшний день отечественных САПР ТП не позволяет полноценно автоматизировать синтез единичного МТП и необходимых СТО, что связано со сложностью реализации методического обеспечения, например, изложенного в [39] и создания необходимых программных средств.

В ходе предварительного анализа выполнено сравнение трудоемкости разработки конструкции деталей и единичных МТП при неавтоматизированном проектировании (на основе нормативных данных [89, 90]) и с применением систем “AutoCAD 2004” и “ТехноПро5+(Открытая)”. Установлено, что при неавтоматизированной подготовке производства отношение трудоемкости разработки рабочего чертежа детали к трудоемкости разработки МТП составляет 2...2,5. При использовании САПР-К и САПР ТП указанное отношение достигает 2,2...3,0, что указывает на недостаточную разработанность формальных процедур в САПР ТП по сравнению с САПР-К.

Совершенствование САПР ТП напрямую зависит от расширения использования баз технологических знаний [34]. Применение банков технологических знаний позволит формировать при ТПП новые ТР, полученные в результате взаимодействия имеющихся технологических знаний. Несмотря на исследования по созданию компонентов банков технологических знаний, эта задача остается до конца не решенной.

На основе концепции всеобщего управления качеством – Total Quality Management (TQM) [91] в [92] изложены вопросы оценки проектных решений с помощью функций потери качества. Изложен подход невосприимчивого (устойчивого) проектирования (Robust Design), предложенный японским ученым Г. Тагути, позволяющий выполнять оценку затрат в ходе КПП и назначать оптимальные показатели конструкции, устойчивые к действию параметров ЖЦИ, например, условий эксплуатации. В [93] рассмотрены вопросы разработки тех-

нико-экономических моделей конструкций машин в интегрированных САПР, позволяющие определять формальные взаимосвязи между качественными и экономическими показателями конструкций и ТП. Модели, предложенные Г. Тагути, применялись на предприятиях японской фирмы “Тойота” при внедрении и исследовании совмещенного проектирования [123].

Интегрированная САПР на основе иностранной методологии “проектирование для производства” – DFMA (Design for Manufacture and Assembly), базируется на трех составляющих [1, 122]:

– проектирование с точки зрения сборки (Design for Assembly, DFA);

– проектирование с точки зрения механической обработки (деталей) (Design for Manufacture, DFM);

– проектирование с точки зрения конкурентоспособности (Design for Competitiveness, DFC).

Преимуществом интегрированной САПР является сокращение [1] следующих показателей подготовки производства: времени проектирования изделия – на 45%; массы изделия – на 31%; затрат на сборку изделия – на 45%; общих производственных затрат – на 50%.

На процедурном уровне, методология DFMA не раскрывается ни в [1], ни в доступных зарубежных источниках [119, 122]. Однако показано [123], что “проектирование для производства”, реализованное зарубежными корпорациями, такими как “Toyota”, “General Motors”, “Boeing” в виде конкретных программных продуктов и является неотъемлемой частью совмещенного проектирования.

Для решения задачи интеграции САПР-К и САПР ТП в [94] предложена структурированная модель, включающая геометрическую и проблемно-ориентированную информацию об изделии. Интеграция систем состоит в декомпозиции трехмерной модели детали на множество технических элементов – элементов формы изделия с ассоциированным набором технических свойств (геометрических, технологических, служебных и др.). Каждому техническому

элементу соответствуют [94] ссылки на ТП или операцию, применяемую для изготовления на предприятии. Формальные алгоритмы последовательного функционирования САПР-К и САПР ТП изложены в [95]. Авторами [94,95] предложена интеграция систем при их последовательном использовании, а не взаимосвязи процессов подготовки производства.

В [96] представлена методология автоматического распознавания конструкторско-технологических элементов деталей в интегрированных САПР. Этому способствует создание конструкторско-технологической модели детали на основе распознавания созданных в САПР-К двумерного чертежа и трехмерной модели с использованием аппарата нечетких множеств. Конструкторско-технологическая модель детали представлена информацией о конструкторско-технологических элементах и связях между ними в формате, позволяющем разработку ТП в системе “ТехноПро”. Данный подход позволяет существенно облегчить передачу информацию из САПР-К в САПР ТП, однако методически, встроен в схему последовательного использования указанных систем при подготовке производства деталей машин.

Среда “CATIA V5” обладает возможностями модульного проектирования, позволяющего создавать трехмерные модели деталей из заранее сформированных конструкторских модулей [97, 98]. Каждый из таких модулей связан с множеством технологических модулей – унифицированных фрагментов ТП. На этапе ТПП, выполняемом в совместимой с “CATIA V5” среде “NATA”, для каждого конструкторского модуля выбирается единственный технологический модуль, из совокупности которых затем автоматически синтезируется ТП изготовления детали [97]. Следует отметить, что технологические модули представляют собой фрагмент ТП, содержащий его полное операционное описание, включая данные об используемых СТО и технологических режимах. Это означает, по сути, формирование ТП из типовых технологических операций, а не реализацию метода синтеза. Таким образом, в работе [97], показана интеграция

систем подготовки производства, а не процессов конструирования и разработки ТП.

На сегодняшний опубликован ряд работ, декларирующих использование совмещенного проектирования в технической подготовке производства средствами существующих CAE/CAD/CAM/CAPP/PDM-систем. В частности, авторами [2] предложена организация подготовки производства для реализации индивидуального заказа, позволяющая увязывать параметры компонентов трехмерной модели изделия и ТП и выполнять совмещенную разработку конструкций деталей и СТО, необходимых для их изготовления, а также создание управляющих программ для станков с ЧПУ. На примере электродвигателей, выпускаемых ОАО “Сафоновский машиностроительный завод”, предложенная организация подготовки производства позволяет сократить сроки появления нового изделия с 8000 до 1200 нормочасов. Авторами [2] не уделяется внимание вопросам совмещенной разработки конструкции и МТП – основного носителя информации о технологии изготовления сложных деталей и сборочных единиц. Совмещение достигается за счет использования возможностей выбранных систем подготовки производства.

В [99] отражены вопросы принятия эффективных проектных решений при параллельном проектировании. Показано, что при совмещенном проектировании может выполняться стоимостная оценка изделий, позволяющая параллельно с созданием конструкции проводить сокращенное нормирование технологии и расчет ожидаемых затрат на изготовление, однако не представлены рекомендации по совместной разработке конструкций деталей и МТП их изготовления.

По мнению автора [100], основа методологии совмещенного проектирования – система математического моделирования объектов машиностроения. Выделены два типа моделей объекта (порождающая и результирующая) и два типа моделей изделия (конструкторская и технологическая). Автором [100] процесс совмещенного проектирования представляется в виде преобразования

конструкторских моделей в технологические на высоком уровне абстрагирования, без указания конкретных алгоритмов.

Автором [101] рассмотрено информационное представление объектов машиностроения при параллельном проектировании. Для их описания предложена модель, включающая множества элементов, свойств, параметров и отношений, а также процедуры их формирования. В основе [101] – методы представления информации о проектируемых изделиях. Одновременно, совмещенное проектирование должно базироваться на новых методиках их разработки. В [102] выделены варианты совмещенного проектирования: асинхронный (с последовательным доступом специалистов) и синхронный (с доступом к информации во время этапа разработки). Реализация совмещенного проектирования, на взгляд автора [102] , возможна на основе единой информационной модели объекта “объект-процесс-среда”. Такая модель отображает состояния объекта по этапам КПП, процедуры, связывающие эти состояния и ресурсы, определяющие возможность реализации процедур. Методик совмещенной подготовки производства автор [102] не приводит.

В [10, 103] предложена спиральная модель ЖЦИ (рис. 1.14), на основе которой рассматривается возможность реализации совмещенного проектирования средствами существующих, в том числе интегрированных САПР, без принципиального изменения процесса технической подготовки производства и разработки ТП, в частности. Одновременно рядом исследователей, например, авторами [104] отмечается, что эффективность совмещенного проектирования в подготовке производства, в первую очередь определяется методическим обеспечением, а CALS-технологии и возможности интегрированных САПР могут выступать лишь его инструментами.

В [105] только декларируется использование САПР в условиях параллельного проектирования. По сути, в [105] изложено использование САПР-К и САПР ТП для создания трехмерных моделей деталей судов и управляющих программ для станков с ЧПУ. В [106] предложен метод формирования конст-

рукторско-технологических решений композитных тройников, позволяющий по завершении разработки их конструкции одновременное построение ТП на основе типовой последовательности операций.

Автор [107, 108] рассматривает модель совмещенного поиска конструкторских решений и ТР. Предлагаемая модель направлена непосредственно на поиск производственно-технологических условий (параметров заготовок, СТО и оборудования, вариантов ТП и др.), обеспечивающих выполнение требований технического задания к эксплуатационным характеристикам боеприпасов. В отличие от большинства работ, автор [107, 108], на примере конструкций боеприпасов, излагает методику совмещенного проектирования боеприпасов на основе определения взаимосвязей между параметрами конструкции и соответствующими ТР.

В работах [109, 110] изложено общее описание процесса совмещенного проектирования. Доступные иностранные исследования, в основном, характеризуются описанием совмещенной подготовки производства машин на уровне машиностроительных предприятий. В работах [119, 120] показаны следующие изменения при переходе к совмещенному проектированию:

1) более тесное взаимодействие подразделений, выражающееся в использование междисциплинарных рабочих групп специалистов;

2) использование доступа к результатам ранних стадий разработки при КПП;

3) создание нормативной базы, закрепляющей за каждым исполнителем состав формируемых им решений.

В работах [121, 125] показано, что в основе САПР ТП, используемых за рубежом (в США, Великобритании), находятся также два метода: вариативный (с использованием процессов-аналогов) и генеративный (синтез ТП). В работе [125] представлена схема поэтапной разработки МТП (рис. 1.15), используемая в условиях совмещенного проектирования. Интересен тот факт, что в качестве исходной информации для разработки МТП, даже при использовании интегри-

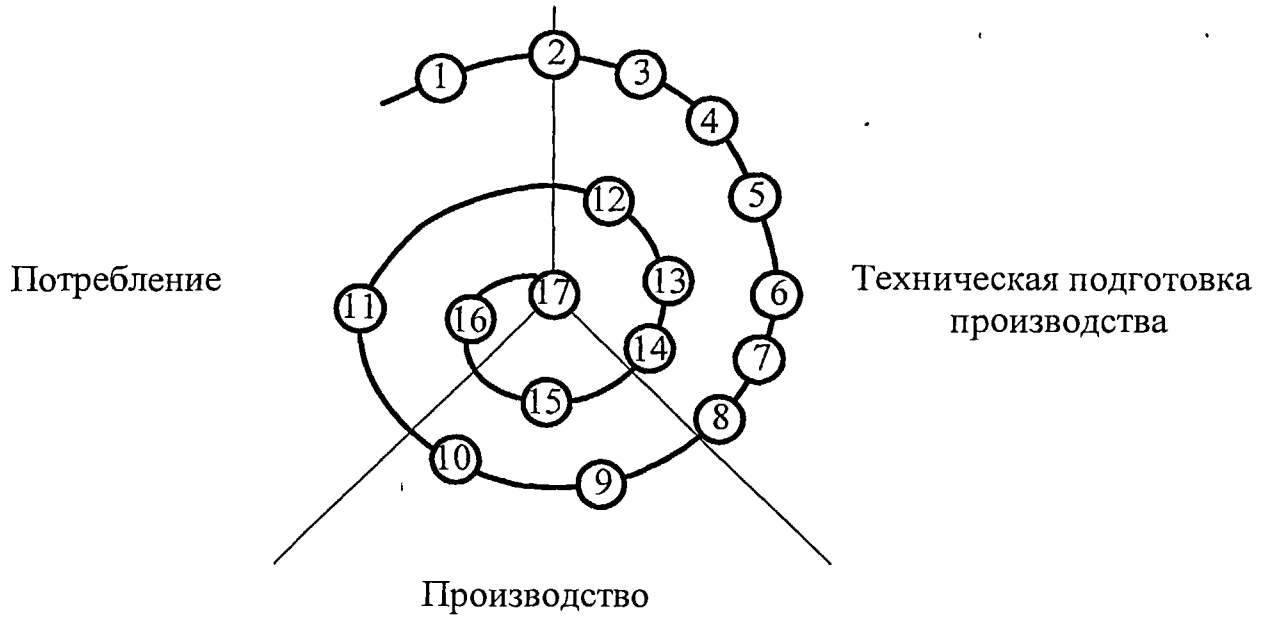


Рис.1.14 Спиральная модель жизненного цикла изделия:
1 - маркетинг; 2 - техническое задание; 3 - техническое предложение; 4 - эскизный проект; 5 - технический проект; 6 - рабочий проект; 7 - разработка ТП; 8 - разработка СТО; 9 - изготовление опытного образца; 10 - стендовые испытания; 11 - испытания в реальных условиях; 12 - корректировка рабочего проекта; 13 - корректировка ТП; 14 - корректировка СТО; 15 - серийное производство; 16 - эксплуатация; 17 - утилизация

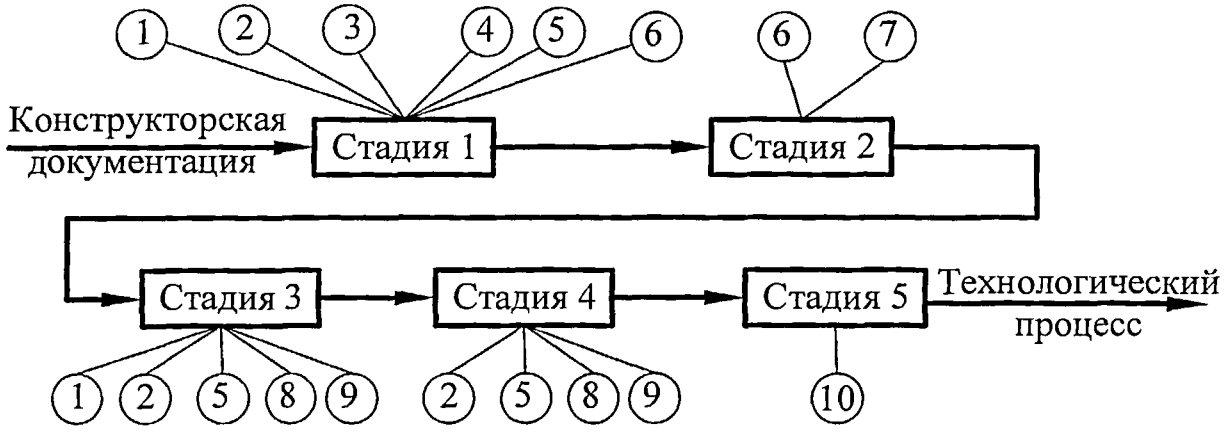


Рис.1.15 Схема поэтапной разработки ТП за рубежом при совмещенном проектировании: 1 - выбор методов формообразования; 2 - выбор оборудования; 3 - анализ свойств материала; 4 - расчет затрат; 5 - выбор методов окончательной обработки; 6 - разработка наладок; 7 - разработка маршрута; 8 - выбор режущего инструмента и СТО; 9 - анализ технологичности; 10 - разработка операций ХТО

рованных систем и совмещенном проектировании на уровне машин, используется двумерная модель детали (рабочий чертеж) [125], содержащая полную информацию, необходимую для ее изготовления. Несмотря на это, научное исследование процессов совмещенного проектирования за рубежом с 80-х годов XX века и его использования ведущими машиностроительными предприятиями [124], позволяет предполагать, что существуют программные компоненты, процедурно реализующие совмещенное конструирование деталей (или изделий) и построение МТП ее изготовления.

Отечественными исследователями уделяется недостаточное внимание методическому обеспечению процесса совмещенного проектирования при технической подготовке производства машин. Под термином “совмещенное проектирование” чаще всего подразумевают одновременное выполнение различных задач технической подготовки производства средствами существующих САПР-К и САПР ТП, использование CALS-технологий в обмене информацией.

Для полноценной реализации совмещенного проектирования требуются методики, позволяющие максимально возможно совместить во времени процессы формирования конструкторских решений и ТР на элементарном уровне машин – уровне деталей. Необходимо определение информации о конструкции, минимально необходимой для формирования проектных ТР, построение иерархически организованных конструкторских и технологических моделей, разработка которых будет приводить к определению конструкции детали и, одновременно с этим, к формированию ТП.

В работах, посвященных проблематике совмещенного проектирования, практически игнорируется фактор времени. Важным является определение возможности одновременного выполнение этапов подготовки производства при обеспечении эксплуатационного качества машины и ее элементов. Сказанное делает тему представленной диссертационной работы, направленной на сокращения длительности технической подготовки производства деталей машин, актуальной для машиностроения РФ.

1.2. Выводы по главе 1

1. Выявлена актуальная научная задача сокращения длительности технической подготовки производства деталей машиностроения, имеющая важное значения для машиностроения РФ. Наиболее перспективным путем ее решения является применение совмещенного конструкторско-технологического проектирования.

2. Применение CALS-технологий позволяет информационную интеграцию задач, относящихся к различным этапам технической подготовки производства, но требует совершенствования методик создания изделий и технологии их изготовления.

3. Использование в технической подготовке производства интегрированных CAD/CAM/CAE/CAPP-систем допускает совместное ("сквозное") выполнение различных задач, но методически сохраняет традиционный последовательный подход к проектированию.

4. Существующие подходы к реализации совмещенного проектирования при технической подготовки производства носят декларативный характер, проектные процедуры выполнения и взаимодействия конструкторской и технологической подготовки производства определены недостаточно для их эффективной реализации.

5. Совмещенное конструкторско-технологическое проектирование деталей машин должно осуществляться на базе принципа модульности и обеспечивать совместную разработку конструкции и маршрутного технологического процесса ее изготовления на основе объективных, общетехнических правил создания конструкций и технологических процессов.

1.3. Предметная область и основные задачи исследования

Предметная область исследования – техническая подготовка производства деталей машин, инвариантно их классу для условий серийного производства.

Цель исследования – сокращение длительности технической подготовки производства деталей машин.

Объект исследования – процессы формирования проектных конструкторских и технологических решений при технической подготовке производства деталей машин.

Достижение цели исследования связано с решением следующих основных задач:

1. Создание метода технологической формализации конструкций деталей машин.
2. Разработка и исследование метода генерирования вариантов ТР.
3. Разработка и исследование макета автоматизированной системы совмещенной подготовки производства деталей.
4. Выработка практических рекомендаций по реализации совмещенного конструкторско-технологического проектирования в машиностроении.

Решение первой из поставленных задач связано с созданием метода представления конструкций деталей, допускающего формирование проектных ТР на базе ограниченной (неполной) информации о последней.

При выполнении второй задачи разрабатывается формальная методика генерирования проектных ТР. Показывается, что формируемые на основе неполной информации о детали первичные ТР можно рассматривать как основу для разработки МТП. Первичные ТР устойчивы к вариантным изменениям конструкции детали и технологически взаимно непротиворечивы.

Третья задача посвящена разработке, тестированию и исследованию макета системы совмещенной подготовки производства деталей. Демонстрируется принципиальная возможность реализации совмещенной подготовки производ-

ства деталей машин. При исследовании макета системы определяются границы ее эффективного использования.

Четвертая задача исследования посвящена разработке практических рекомендаций по организации совмещенной подготовки производства деталей. Излагается инженерная методика, использование которой позволяет в реальных условиях машиностроительного предприятия сократить суммарную длительность разработки деталей по сравнению с последовательным проектированием. Сокращение суммарной длительности подтверждается в ходе совмещенной разработки конструкций и МТП изготовления оригинальных деталей конкретной сборочной единицы.

ГЛАВА 2. ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ФОРМАЛИЗАЦИЯ КОНСТРУКЦИЙ ДЕТАЛЕЙ МАШИН

2.1. Конструкторское представление предмета производства

Совмещенная автоматизированная подготовка производства предусматривает разработку метода представления конструкции детали, обеспечивающего формирование проектных ТР на основе ограниченной информации о ней. Метод должен обеспечивать:

1) визуализацию внешнего облика предмета производства в виде двумерных или трехмерных электронных моделей;

2) применение принципа модульности;

3) отображение последовательных изменений моделей предмета производства;

4) непротиворечивость формируемых ТР общетехнологическим принципам и правилам;

5) непротиворечивость ТР, соответствующих начальной и конечной стадиям разработки конструкции детали;

6) создание дружественного пользовательского интерфейса автоматизированной системы подготовки производства.

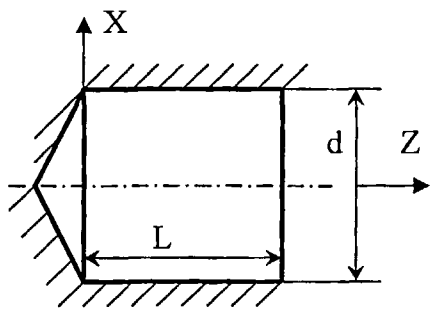
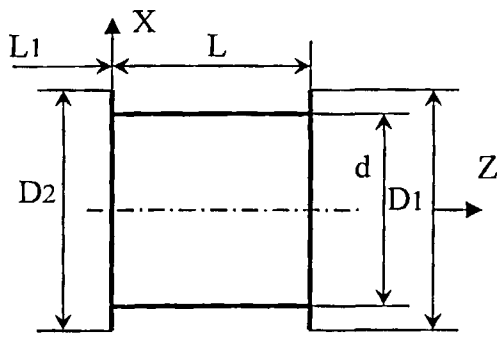
Приведенным требованиям отвечает представление проектируемых деталей упорядоченными комплексами поверхностей, объединенных по общности технологии их формообразования (Т-комплексами).

Т-комплекс – совокупность поверхностей различных типов, которые могут быть обработаны совместно при непрерывном движении инструмента по заданной траектории или обработаны комплектом последовательно используемых инструментов при реализации элементарного маршрута обработки комплекса (ЭМОК) [39]. Каждому Т-комплексу соответствует ограниченное множество технологических методов, которые могут быть использованы отдельно,

или в совокупности, для совместной обработки всех поверхностей Т-комплекса (табл. 3). Технологические методы, в том числе методы формообразования, считаются элементарными структурными единицами МТП, в результате реализации которых осуществляется изготовление детали.

Таблица 3.

Фрагмент каталога Т-комплексов

Идентификатор	Эскиз комплекса	Технологические методы	Тип производства
CIP11		Сверление	Все типы
		Зенкерование	Все типы
		Раскатывание	Серийное
		Растачивание	Все типы
		Шлифование	Все типы
...	...	...	...
CEP21		Точение	Все типы
		Притирка	Серийное
		Полирование	Серийное
		Точение (прорезка)	Все типы
		Шлифование продольное	Все типы
		Шлифование врезное	Все типы

Каталог Т-комплексов (прил. 1) позволяет формировать геометрический облик большинства деталей машин. Представление Т-комплекса включает его геометрическое моделирование (визуализацию) в среде двух- или трехмерного проектирования и информацию о конструкторско-технологических параметрах. Каталог открыт и может быть дополнен Т-комплексами, объединяющими более сложные поверхности, позволяя конструировать детали различной конфигурации. В Т-комплексы объединены от 2 до 4 поверхностей, что делает их универсальным средством представления конструкций различных деталей. Одновре-

менно каждому Т-комплексу соответствует ограниченное число технологических методов формообразования, позволяя понижать размерность задачи при формировании ТР, по сравнению с моделированием детали совокупностью отдельных поверхностей. Иногда Т-комплекс состоит из единственной поверхности, однако существенно отличается от двумерного изображения поверхности или ее трехмерного элемента в САПР-К за счет однозначной привязки к множеству технологических методов.

Для формирования проектных ТР, направленных на разработку МТП, необходимо адекватное отображение предмета производства или его элементов (поверхностей, Т-комплексов), находящихся в определенном технологическом состоянии (заготовки, полуфабриката или готовой детали). Каждое из таких состояний, показанных на рис. 2.1 для детали “вал”, характеризуется набором геометрических размеров и технологических атрибутов. Под технологическим атрибутом понимаем показатель производственно-технического качества детали в целом, отдельной поверхности или их сочетания (Т-комплекса) на любом этапе процесса изготовления (показатели геометрической формы, качества поверхностного слоя и т. д.). В табл. 4 представлены технологические атрибуты, соответствующие различным уровням представления детали.

Технологические атрибуты и их значения определяют в зависимости от назначения детали в сборочной единице, исходя из ее функций и необходимых эксплуатационных свойств. В частности, опорная функция шеек вала цилиндрического редуктора требует высокой износостойкости и прочности посадок, а опорная функция плоскости крышки цилиндрического мотор-редуктора – высокой контактной жесткости. Устанавливаемые конструктором технологические атрибуты и их значения характеризуют конечное состояние предмета производства либо его элементов, соответствующее готовой детали. Такое состояние назовем конструкторско-атрибутированным. Конструкторско-атрибутированной назовем поверхность, для которой назначены геометриче-

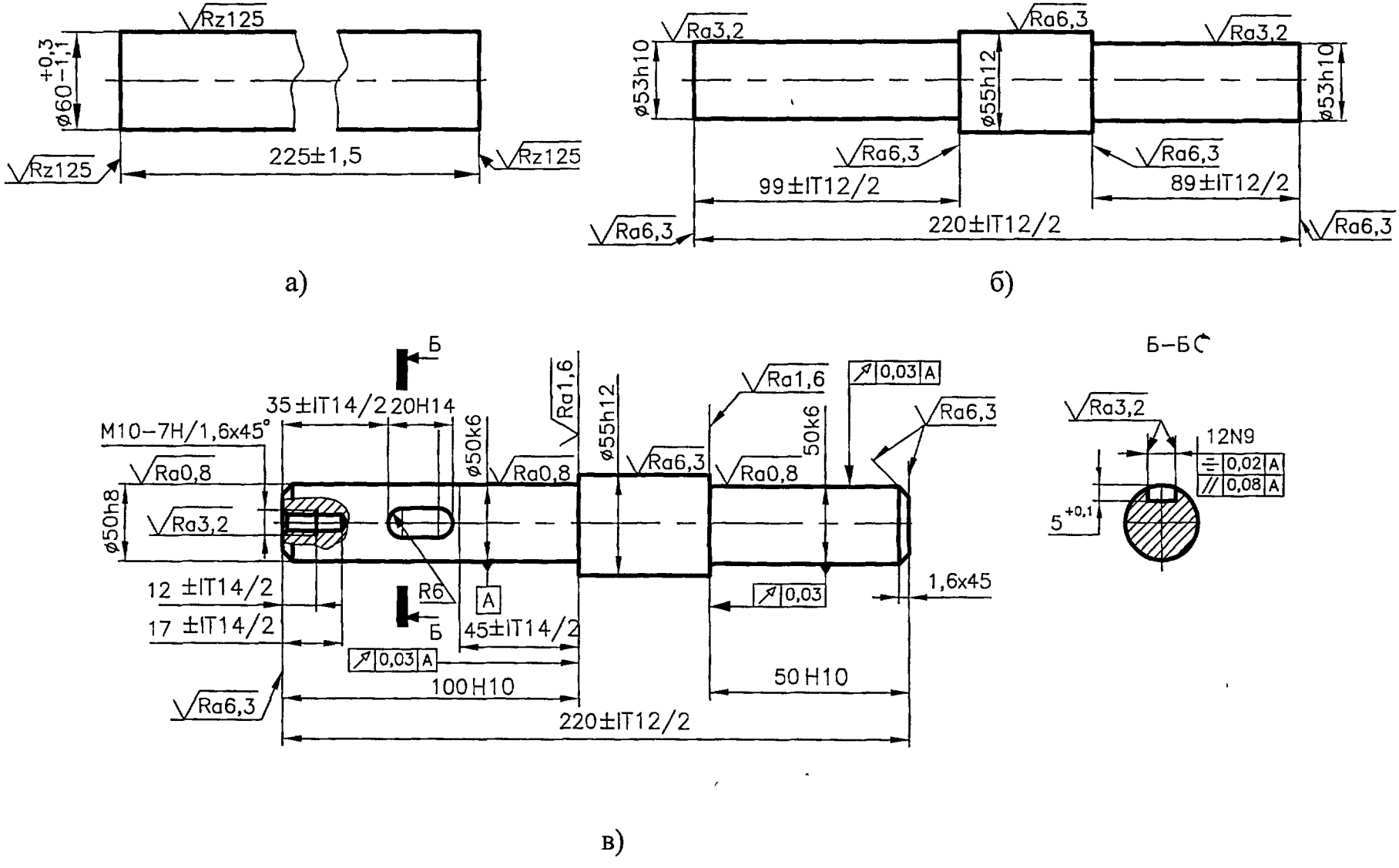


Рис. 2.1 Технологические состояния детали "вал":
а) заготовка; б) полуфабрикат; в) готовая деталь

Таблица 4.

Технологические атрибуты, назначаемые при конструировании деталей машин

Уровень представления	Технологический атрибут
Поверхность	Допуск размера поверхности (для цилиндрических и конических поверхностей); показатели качества поверхностного слоя; параметры физико-механических свойств основного материала, относящиеся только к данной поверхности (зоне)
Т-комплекс	Допуски размеров между поверхностями Т-комплекса; допуски взаимного расположения поверхностей Т-комплекса; показатели физико-механических свойств основного материала, относящиеся только к поверхностям Т-комплекса
Деталь	Допуски размеров между поверхностями различных Т-комплексов; допуски взаимного расположения поверхностей, принадлежащих различным Т-комплексам; показатели физико-механических свойств основного материала, относящиеся к нескольким Т-комплексам; технические требования на изготовление детали

ские размеры и технологические атрибуты, обеспечивающие ее необходимые эксплуатационные свойства. Пример КА-поверхности – цилиндрической шейки вала мотор-редуктора, показан на рис. 2.2, а; КА-поверхность основания крышки мотор-редуктора отражена на рис. 2.2, б.

Состоящий из КА-поверхностей Т-комплекс, для которого назначены геометрические размеры и технологические атрибуты комплекса в целом, обеспечивающие необходимые эксплуатационные свойства, назовем конструкторско-атрибутированным (КА-Т-комплексом). На рис. 2.3, а, б показаны КА-Т-комплексы – опорная шейка и торец вала мотор-редуктора и шпоночный паз

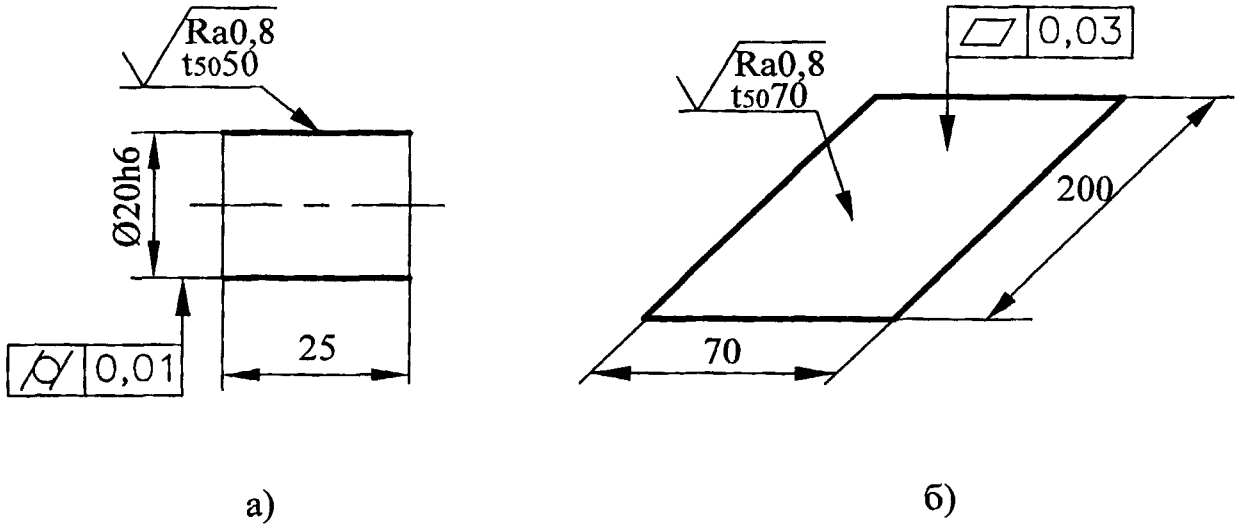


Рис. 2.2 Конструкторско-атрибутированные поверхности:
а) шейки вала мотор-редуктора;
б) плоскости крышки мотор-редуктора

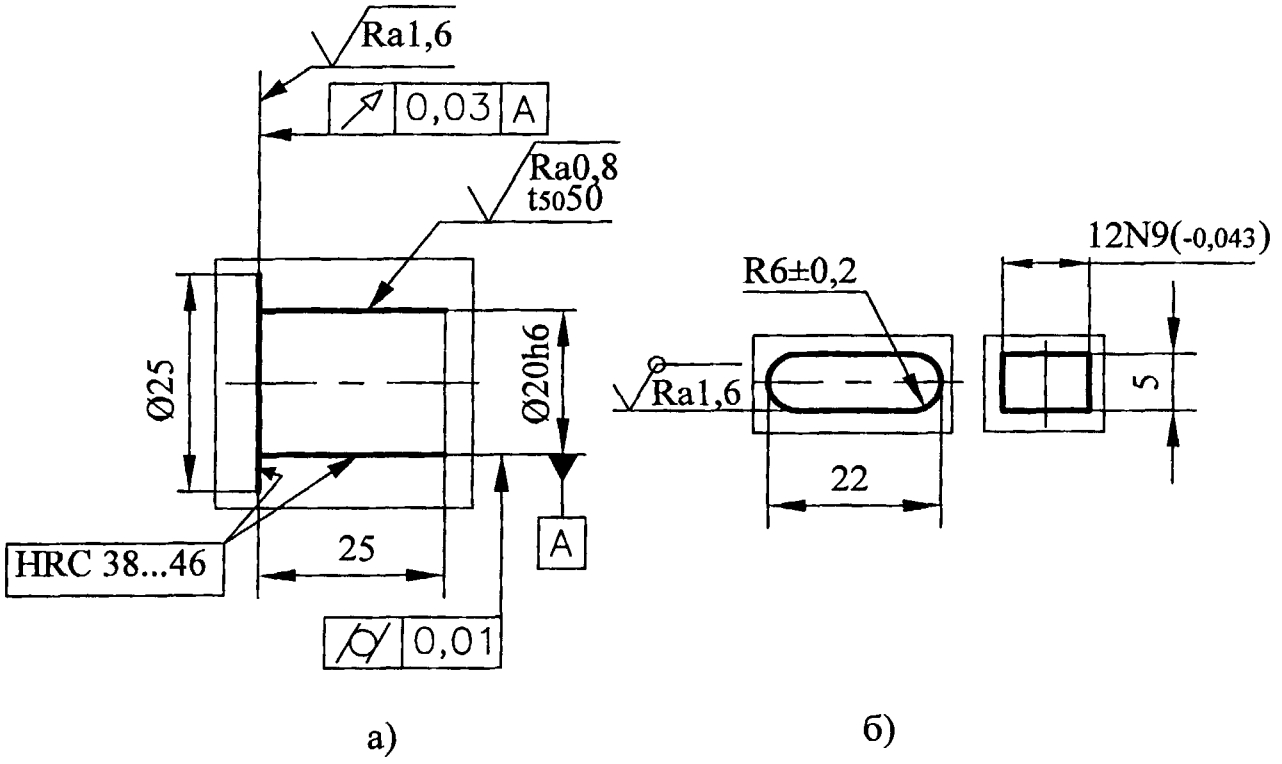


Рис. 2.3 Примеры КА-Т-комплексов:
а) шейки и торца вала мотор-редуктора;
б) шпоночного паза вала мотор-редуктора

вала мотор-редуктора соответственно. Заданные в КА-Т-комплексах значения технологических атрибутов направлены на обеспечение эксплуатационных свойств в детали, а связь с множеством технологических методов формообразования (см. табл. 3) позволяет формировать проектные ТР. Таким образом, КА-Т-комплекс следует рассматривать в качестве элементарной единицы детали для совмещенной разработки ее конструкции и МТП.

Формирование МТП изготовления детали – более трудоемкая задача (см. гл. 1), чем разработка ее конструкции. Совмещенная разработка конструкции детали и МТП возможна при разделении процесса конструирования детали на несколько этапов. На каждом из таких этапов необходимо решение одновременно двух задач:

– последовательного определения конструкции;

– последовательной разработки МТП, с возможностью автоматического выполнения отдельных этапов.

Для максимально возможного сокращения длительности подготовки производства, требуется определение информации о конструкции, минимально необходимой для начала формирования МТП. Исходными данными для конструирования любой детали служат: компоновка сборочной единицы; основные расчетные данные о геометрии; прочностные параметры; объем выпуска. К основным расчетным данным о геометрии, например, зубчатого колеса с косыми зубьями относятся модуль, диаметр делительной окружности, диаметры окружностей вершин и впадин, угол наклона линии зуба; к прочностным параметрам, например, валов – величину эквивалентного напряжения.

Конструкция любой детали определяется взаимным расположением и требованиями, предъявляемыми к ее исполнительным (рабочим и базирующим) поверхностям [24]. Точность размеров исполнительных поверхностей большинства деталей машин [30] составляет IT9…6, а нормируемое значение параметра шероховатости в пределах Ra0,4…3,2 мкм. Точность размеров связующих поверхностей находится в пределах IT15…10, значение параметра

Ra20…6,3 мкм [30]. При разработке МТП одной из наиболее сложных и трудоемких задач станет обеспечение требований, предъявляемых к исполнительным поверхностям детали, включая выбор технологических методов их формообразования. Для совмещенной разработки конструкции детали и МТП исполнительные поверхности должны быть представлены не по отдельности, а в составе КА-Т-комплексов. Формирование совокупности КА-Т-комплексов исполнительных поверхностей детали выполняют за 2 этапа:

1) определение Т-комплексов исполнительных поверхностей детали, исходя соединений и передач (рис. 2.4), их выбор из каталога (см. табл.3) и назначение геометрических размеров на основе предварительных расчетов геометрических, прочностных параметров или конструктивных особенностей сборочной единицы;

2) назначение технологических атрибутов на базе справочных данных, например [30, 31], обеспечивающих необходимые эксплуатационные свойства, с учетом доступного метрологического обеспечения.

Минимально необходимую информацию для формирования проектных ТР содержит первичное представление детали (ППД).

Первичное представление – геометрическая модель детали, составленная из упорядоченной совокупности КА-Т-комплексов исполнительных поверхностей (рис. 2.5). Дополнительно в ППД отражают данные о группе материала детали, выбранной исходя из ее функционального назначения в сборочной единице и основных прочностных параметров (например, для валов – допускаемой величине эквивалентного напряжения). Группа материала определяет возможность и обоснованность использования технологических методов формообразования (для обработки резанием, по коэффициенту обрабатываемости [111]), а также достигаемые значения технологических атрибутов при их применении. В частности, достигаемые технологическими методами значения показателей геометрической точности для конструкционных сталей и, например, медных

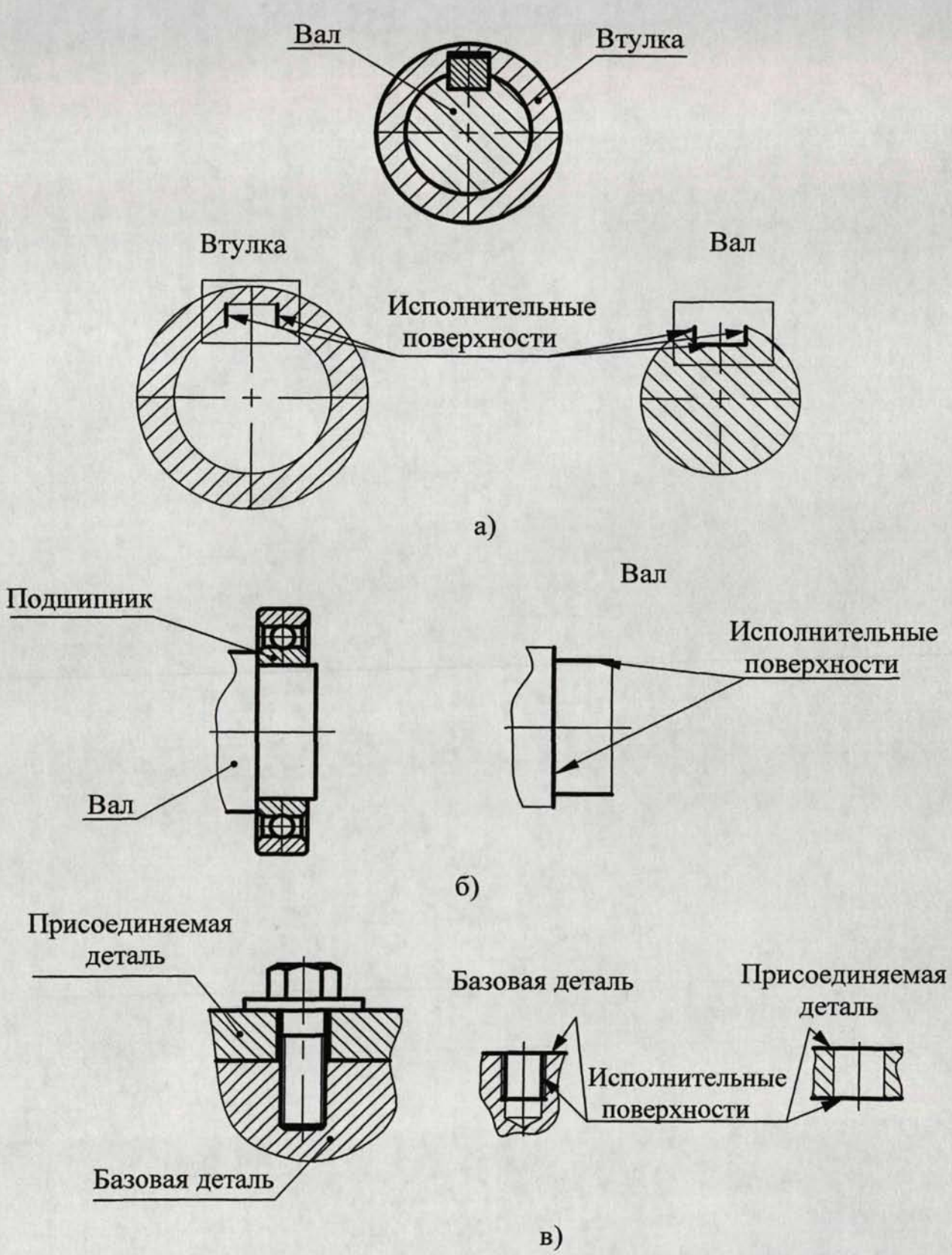
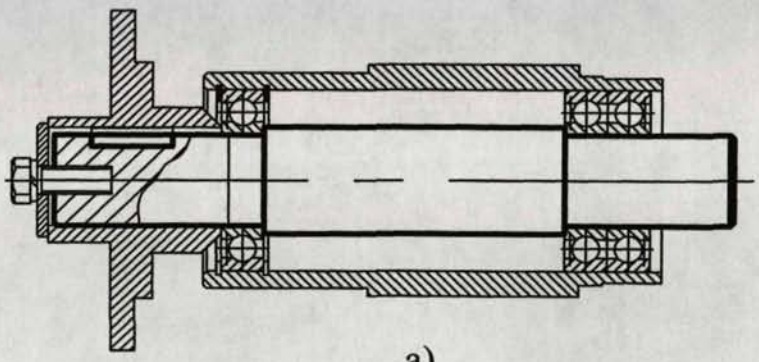
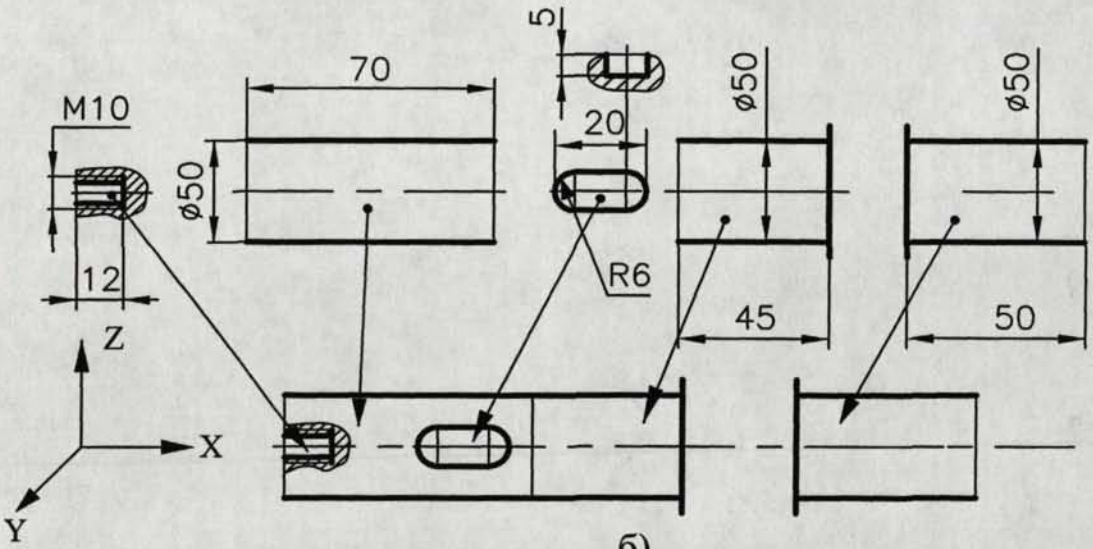


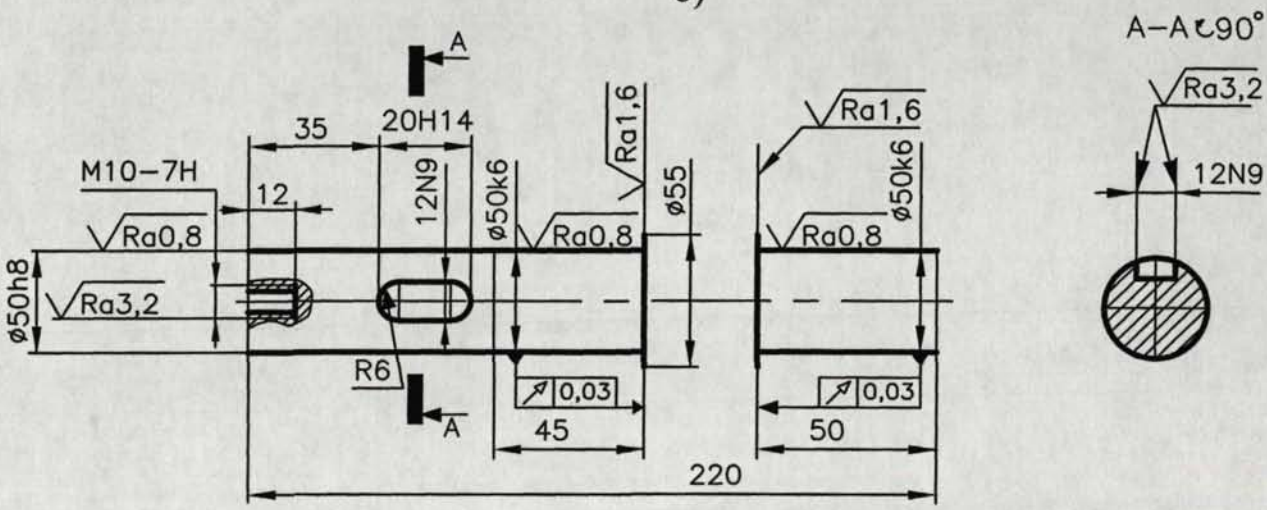
Рис. 2.4 Выделение исполнительных поверхностей деталей из типовых соединений:
а) шпоночного; б) с натягом; б) резьбового



а)



б)



Выбранная группа материала: низколегированные стали

в)

Рис. 2.5 Формирование первичного представления детали "вал": а) компоновка сборочной единицы; б) выбор Т-комлпексов и задание геометрических размеров; в) назначение технологических атрибутов

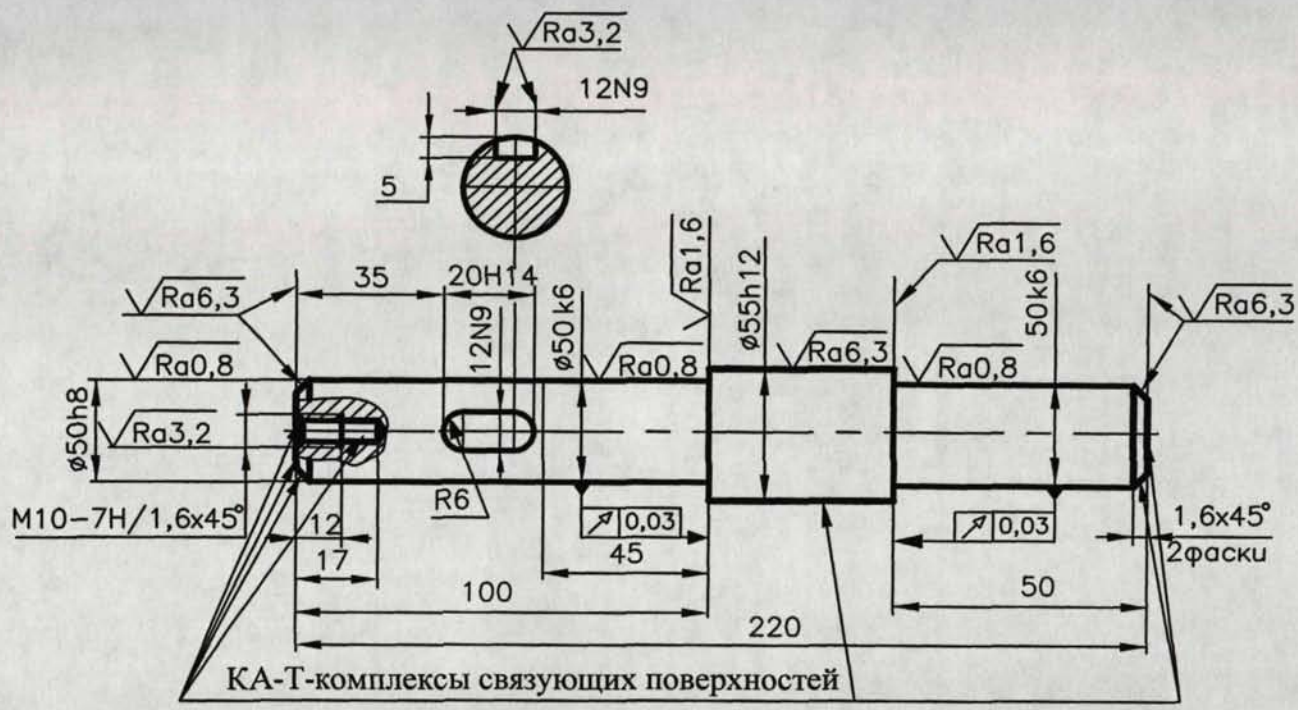
сплавов, будут различными. Формирование ППД является первой стадией конструирования детали в ходе ее совмещенной разработки.

Первичное представление полностью не определяет не только конструкцию детали, но даже геометрическую форму. Для формирования модели детали как единого пространственного тела к КА-Т-комплексам исполнительных поверхностей ППД необходимо присоединить КА-Т-комплексы связующих поверхностей. Присоединение КА-Т-комплексов связующих поверхностей может вызвать корректировку состава КА-Т-комплексов исполнительных поверхностей, геометрических размеров и технологических атрибутов, назначенных при разработке ППД, однако полностью определяет геометрическую форму детали.

Конструкторская модель детали (КМД) – геометрическая модель, представляющая собой упорядоченную совокупность КА-Т-комплексов исполнительных и связующих поверхностей, формирующих геометрическую структуру детали как единого пространственного тела (рис. 2.6, а). Дополнительно при разработке КМД выбирают марку материала, что позволяет рассчитать массу детали. В некоторых случаях связующие поверхности детали не требуют их формообразования методами обработки резанием. В этом случае необходимо стремиться к выбору из каталога Т-комплексов, объединяющих максимально возможное число связующих поверхностей и присвоить статус, предполагающий их изготовление в заготовке. Такие Т-комплексы используют в ТП только в качестве черновых технологических баз.

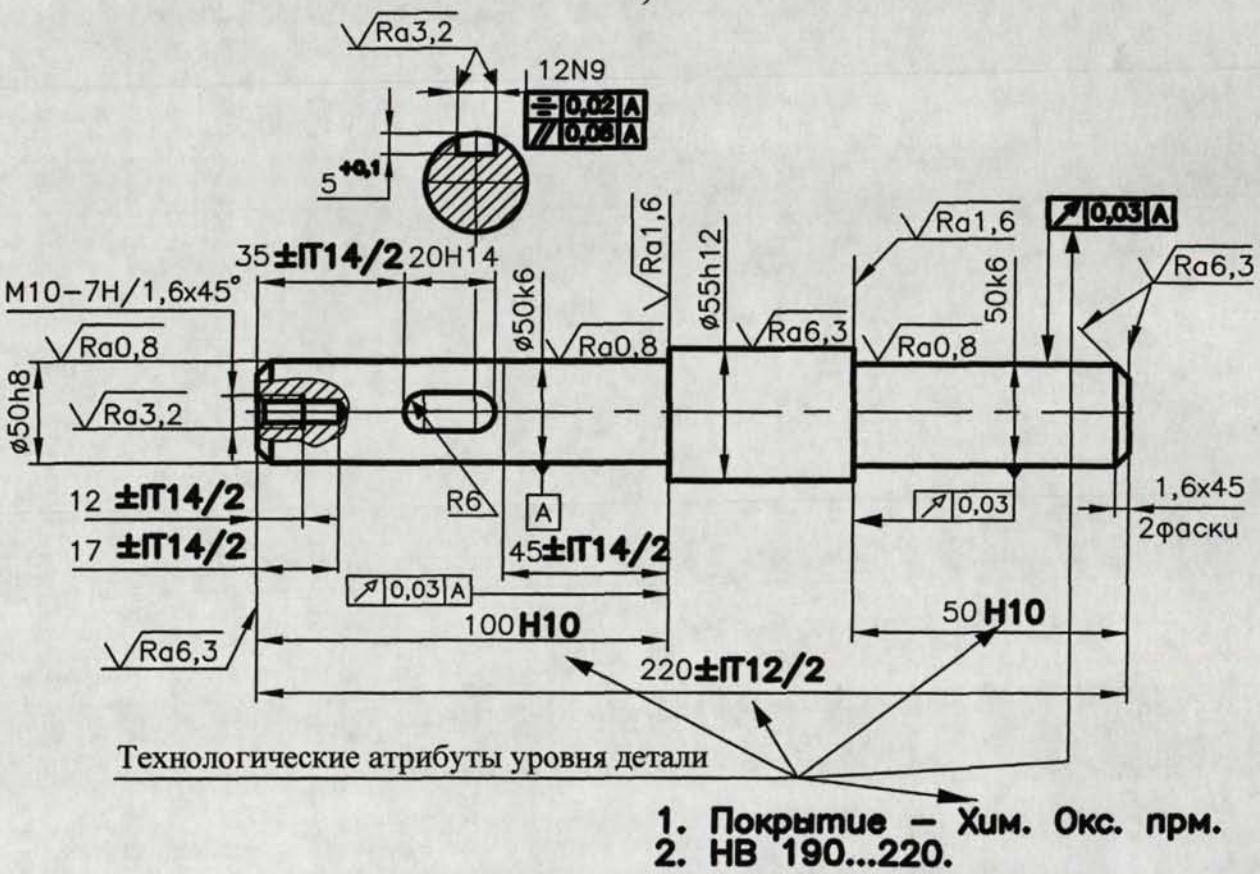
В КМД не представлены технологические атрибуты детали (см. табл. 4), например, допуски взаимного расположения поверхностей, принадлежащих различным КА-Т-комплексам и допуски размеров между ними, а также и иные технические требования, одновременно предъявляемые к нескольким КА-Т-комплексам, традиционно указываемые на рабочем чертеже в текстовой форме.

Третьим и окончательным представлением детали является ее конструкторско-атрибутированная модель (КАМД) – геометрическая модель детали, сформированная на основе КМД, в которой заданы технологические атрибу-



Выбранная марка материала: сталь 40Х ГОСТ 4543-88

а)



б)

Рис. 2.6 Конструкторская (а) и конструкторско-атрибутированная (б) модели детали

ты детали в целом (рис. 2.6 б). Конструкторско-атрибутированная модель содержит полную информацию о детали, необходимую для ее изготовления и контроля, на основе которой оформляется рабочая документация в бумажном или электронном виде согласно ЕСКД.

Первичное представление, конструкторская и конструкторско-атрибутированная модели, в совокупности образуют иерархически организованное описание детали, допускающее одновременную автоматизированную разработку МТП. Без визуализации технологических атрибутов и геометрических размеров ППД, КМД и КАМД позволяют формировать из них модели сборочных единиц. Современные САПР-К, позволяют разработку ППД, КМД и КАМД в виде двумерных изображений КА-Т-комплексов или их трехмерных моделей.

2.2. Технологическое моделирование предмета производства

При разработке МТП необходимо обеспечить требования, заданные при конструировании детали (показатели геометрической формы, показатели качества поверхностного слоя, физико-механические свойства материала). В основе любого МТП – множество технологических методов (формообразования, мойки, сушки, термической обработки и др.). Формообразования подавляющего большинства деталей машин достигают применением технологических методов обработки резанием и поверхностно-пластического деформирования. Информационную основу для выбора технологических методов и построения элементарных маршрутов обработки КА-Т-комплексов составляют данные об условиях и результатах их реализации. В частности, для Т-комплекса с идентификатором CER 21 деталей из углеродистых и низколегированных сталей (см. прил. 1) применимы данные по технологическим методам, указанные в табл. 5 [23, 39] . Дополнительно можно использовать данные о достижении других технологических атрибутов [31], например, параметров шероховатости Rp, Sm, tp.

Целью применения любого технологического метода является достижение желаемого множества значений технологических атрибутов обрабатываемой заготовки (результата), например, квалитета точности (IT) и среднего арифметического отклонения профиля шероховатости (Ra):

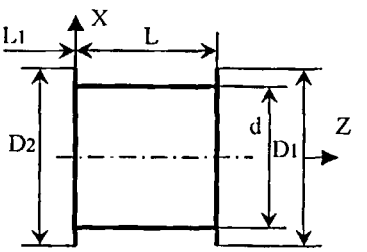
$$(IT_{min})_p \le IT_з \le (IT_{max})_p; \qquad (2.1)$$

$$(Ra_{min})_p \le Ra_з \le (Ra_{max})_p,$$

где $(IT_{min})_p$ и $(IT_{max})_p$ – границы диапазона значений IT в результате применения технологического метода; $(Ra_{min})_p$ и $(Ra_{max})_p$ – границы диапазона значений Ra, достигнутых в результате применения технологического метода; $IT_з$, $Ra_з$ – заданные значения IT и Ra обрабатываемой заготовки. Результат применения любого технологического метода достижим лишь при выполнении необходимых условий его реализации.

Таблица 5.

Условия и ожидаемые результаты применения технологических методов при обработке Т-комплекса CER 21[39]

Т-комплекс					
Технологический метод	Технологический атрибут	Условие		Результат	
		Min	Max	Min	Max
Точение черновое	IT Ra, мкм	14 40	17 160	12 12,5	13 36
Точение получистовое	IT Ra, мкм	12 12,5	14 50	11 3,2	12 12,5
Точение чистовое	IT Ra, мкм	11 3,2	13 12,5	8 1,4	9 4,6
Точение тонкое	IT Ra, мкм	8 1,0	10 3,8	6 0,32	7 1,0
Шлифование (врезное и продольное) предварительное	IT Ra, мкм	8 1,2	10 2,5	7 1,0	9 2,0
Шлифование (врезное и продольное) окончательное	IT Ra, мкм	7 0,6	8 1,8	6 0,2	7 1,2
Шлифование (врезное и продольное) тонкое	IT Ra, мкм	6 0,3	7 1,0	5 0,1	6 0,6
Притирка чистовая	IT Ra, мкм	6 0,3	7 1,2	5 0,1	6 0,5
Притирка тонкая	IT Ra, мкм	6 0,32	7 5,0	5 0,07	6 0,75
Полирование	IT Ra, мкм	5 0,32	10 1,0	5 0,04	10 0,32

В частности, если исходные значения технологических атрибутов заготовки (Ra и IT) находятся в определённых границах, например:

$$(IT_{min})_y \leq IT_н \leq (IT_{max})_y; \qquad (2.2)$$

$$(Ra_{min})_y \leq Ra_н \leq (Ra_{max})_y,$$

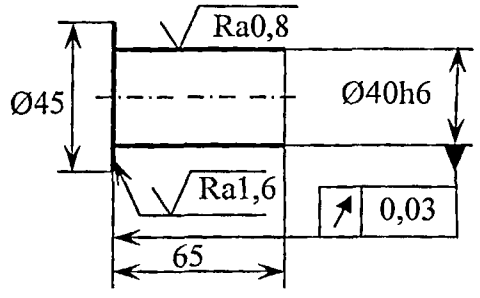
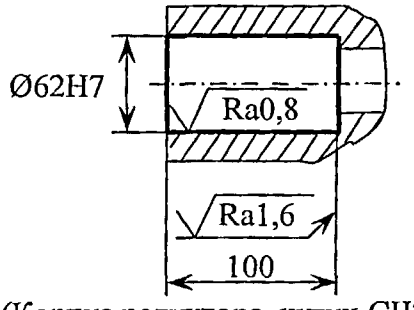
где $(IT_{min})_y$, $(IT_{max})_y$ – границы диапазона значений квалитета точности, при которых технологический метод может быть реализован; $(Ra_{min})_y$, $(Ra_{max})_y$ – гра-

ницы диапазона значений Ra, при которых технологический метод может быть реализован; $IT_н$, $Ra_н$ – исходные значения IT и Ra.

Технологический метод может быть выбран при выполнении соотношений, аналогичных (2.1) и (2.2) для всех регламентируемых технологических атрибутов на каждом этапе изготовления КА-Т-комплекса. Разработке ЭМОК должен предшествовать выбор наиболее приемлемого вида заготовки (отливка, обработка давлением, прокат), исходя из данных о группе материала и взаимного расположения КА-Т-комплеков исполнительных поверхностей. В табл.6 представлены КА-Т-комплексы исполнительных поверхностей деталей машин и соответствующие ЭМОК.

Таблица 6.

Некоторые КА-Т-комплексы и элементарные маршруты их обработки

Эскиз КА-Т-комплекса (деталь, материал)	ЭМОК	Технологические атрибуты	
		IT	Ra, мкм
 (Вал, сталь 40Х)	Заготовка: прокат	17	120
	Точение черновое	14	25
	Точение получистовое	11	6,3
	Точение чистовое	9	3,2
	Шлифование предварительное	7	1,6
	Шлифование окончательное	6	0,8
 (Корпус редуктора, чугун СЧ20)	Заготовка: отливка	16	200
	Растачивание черновое	13	12,5
	Растачивание получистовое	10	5
	Растачивание чистовое	8	1,6
	Растачивание тонкое	7	0,8

Множества ЭМОК позволяют на основе ППД формировать соответствующую технологическую модель. Для изделий машиностроения доминирую-

щим показателем качества является точность размеров, характеризующаяся квалитетом точности (IT). На основании достигаемой точности в любом МТП изготовления детали выделяют следующие этапы [23]: 1) заготовительный (IT>14); 2) черновой обработки (12≤IT≤14); 3) получистовой обработки (9≤IT≤11); 4) чистовой обработки (7≤IT≤8); 5) окончательной обработки (7>IT). Каждый этап целесообразно дополнить данными о достигаемых параметрах поверхностного слоя, например, параметрах шероховатости Ra, Rp, Sm (табл. 7).

Аналогично может быть разделен и элементарный маршрут обработки КА-Т-комплекса. Принадлежность технологического метода тому или иному этапу МТП определяется соответствием технологических атрибутов заготовки (A_{Mi}), формируемых при реализации метода M_i, диапазону значений технологических атрибутов для данного этапа.

$$A_{Mi} \in \{A^{H}, A^{K}\}_{N_Э} \quad \longrightarrow \quad N_{Mi} = N_Э, \qquad (2.3)$$

где A^{H} и A^{K} – соответственно начальные и конечные значения элементов множества технологических атрибутов для этапа $N_Э$ процесса; N_{Mi} – номер этапа, на котором реализуется технологический метод M_i.

Таблица 7.

Диапазоны значений технологических атрибутов, достигаемые на различных этапах МТП

Номер этапа МТП	Достигаемые на этапе значения технологических атрибутов			
	IT	Ra, мкм	Rp, мкм	Sm, мм
1	свыше 14	свыше 40…120	свыше 30…120	свыше 1,0
2	12…14	не ниже 6,3…40	свыше 25…30	свыше 0,5…1,0
3	9…11	3,2…ниже 6,3	свыше 10…25	свыше 0,1…0,5
4	7…8	не ниже 0,8…ниже 3,2	свыше 2…10	не ниже 0,05…0,1
5	ниже 7	ниже 0,8	ниже 2	ниже 0,05

Назначение нескольких технологических атрибутов для КА-Т-комплекса затрудняет определение этапа. Приоритетность технологических атрибутов, традиционно нормируемых при конструировании, в порядке убывания определяется последовательностью IT, Ra (Rz, Rmax), Rp, Sm. Некоторые технологические атрибуты – такие, как поверхностная микротвердость H_μ,

глубина остаточных напряжений h_σ, в отдельных случаях оказывающие основное влияние на эксплуатационные свойства, традиционно формируются на заключительном этапе МТП – этапе окончательной обработки.

Технологическая модель, соответствующая ППД (ТМ ППД) – упорядоченная, например, по показателю обеспечиваемой геометрической точности (квалитету точности), совокупность технологических методов, сформированная на основе ЭМОК всех КА-Т-комплексов исполнительных поверхностей ППД. Формирование ТМ ППД иллюстрирует рис. 2.7.

На основе КМД определяют и упорядочивают в соответствии с (2.1) – (2.3) технологические методы формообразования КА-Т-комплексов связующих поверхностей в том случае, если они подвергаются обработке резанием или поверхностно-пластическому деформированию. В конструкторской модели представлена геометрическая структура детали, определяющая конфигурацию детали и геометрические размеры между всеми поверхностями. Конфигурация детали позволяет для каждого формообразующего технологического метода, входящего в каждый ЭМОК, выбрать единственную группу оборудования (ГО), приемлемую для его реализации и тип оборудования в пределах группы. Даже при отсутствии информации о допусках размеров между поверхностями, принадлежащими разным КА-Т-комплексам, возможно связывать обрабатываемые КА-Т-комплексы с поверхностями, которые могут использоваться в качестве технологических баз. В КМД не представлены технологические атрибуты детали в целом, такие как допуски взаимного расположения, существенно влияющие на выбор комплекта технологических баз и СУ.

На основе КМД для каждого технологического метода формообразования допустимо формирование не одной, а множества возможных СУ, допускающих его реализацию. Выбранная ГО должна обеспечивать возможность реализации метода, в том числе с учетом взаимозаменяемости оборудования. При выборе множества СУ требуется соблюдение принцип постоянства технологических баз, с учетом жесткости обрабатываемой заготовки.

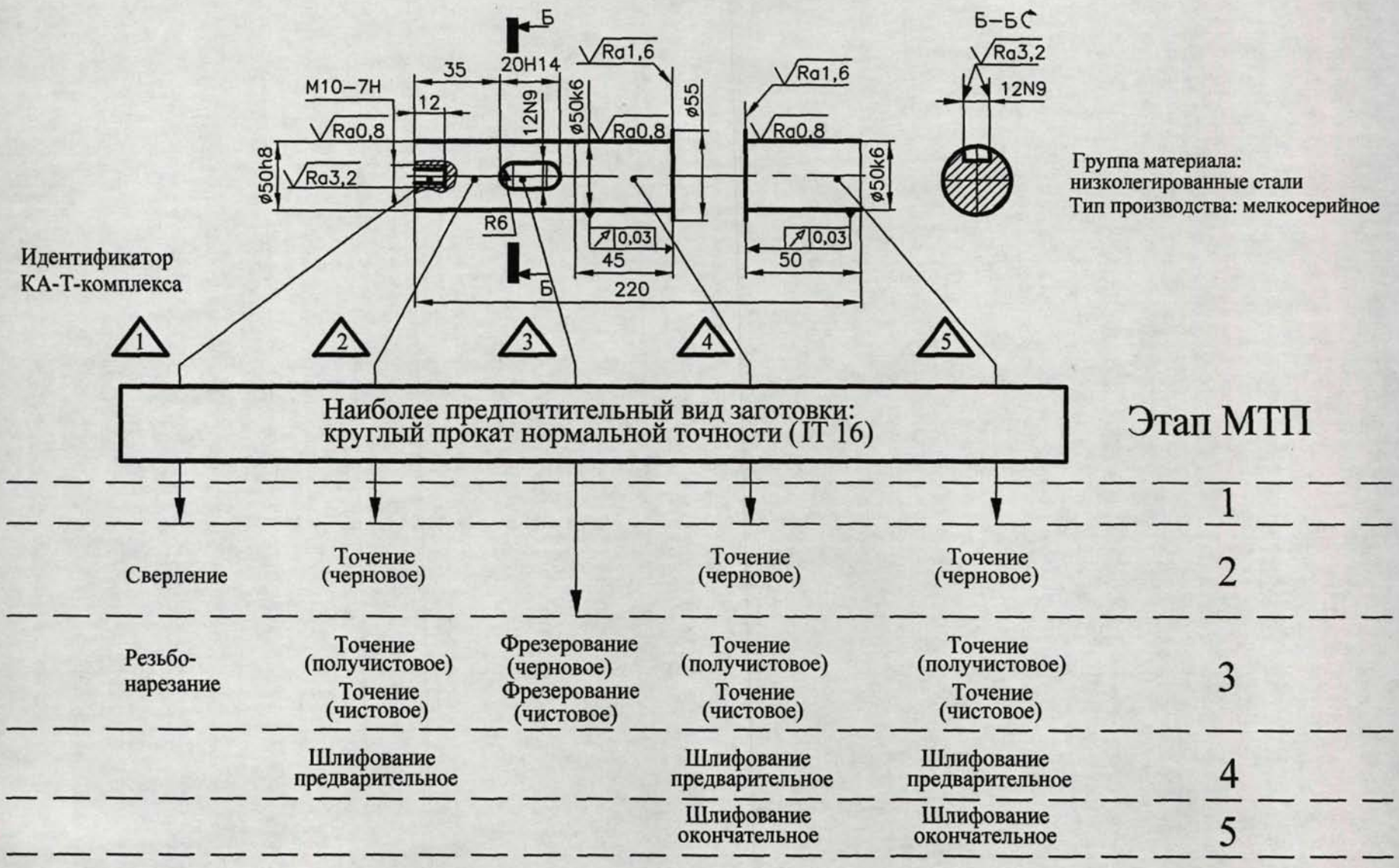


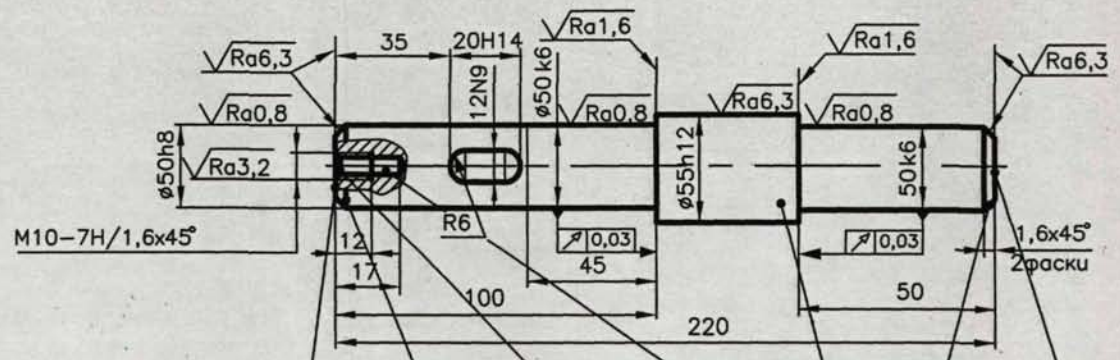
Рис. 2.7 Схема формирования ТМ ППД

Технологический метод формообразования, а также соответствующие ему множества ГО и СУ – основные компоненты укрупненного описания технологического перехода. Такое описание переходов позволяет их группирование (рис.2.8). Объединение переходов выполняют “от детали к заготовке” на базе принципа концентрации. При группировании формируют макеты технологических операций формообразования. В макет операции включают переходы, реализующееся на одном или соседних этапах МТП (см. рис. 2.8) на основании достигаемой технологическими методами точности, а также общности применяемой ГО и однородности множеств СУ. Существенное влияние на количество переходов в макете влияет возможность реализации технологических методов на станках с ЧПУ. В частности, современные токарные станки с ЧПУ оснащены револьверными головками с числом инструментов до 12 – 24 [112], тогда как конструкции резцедержателей универсальных токарно-винторезных станков позволяют устанавливать не более 4 резцов и выполнять не более 4 переходов. Начальные номера присваиваются макетам, содержащим формообразование технологических баз, их выполняют на черновом и получистовом этапе МТП. Последние номера присваивают макетам, обеспечивающим окончательное формообразование КА-Т-комплексов, к которым предъявлены наиболее высокие требования.

Технологическая модель, соответствующая КМД (ТМ КМД) – упорядоченная последовательность макетов технологических операций, используемых для формообразования всех КА-Т-комплексов поверхностей КМД (рис. 2.9, б). Макет не является полностью и окончательно разработанной операцией (рис. 2.9, а), однако при наличии полной информации о детали в дальнейшем может быть трансформирован в технологическую операцию без значительной корректировки ее состава и структуры. Задача разработки алгоритмов группирования переходов с целью автоматического формирования ТМ КМД, методически решена [39].

Материал: Сталь 40Х ГОСТ 4543-88

Тип производства: мелкосерийное



Этап МТП	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1												
2	Сверление	Точение (черновое)		Точение (черновое)	Точение (черновое)	Точение (одно-кратное)	Точение (одно-кратное)	Зенкование	Сверление	Точение (черновое)	Точение (одно-кратное)	Точение (одно-кратное)
3	Резьбо-нарезание	Точение (полу-чистовое) Точение (чистовое)	Фрезерование (черновое) Фрезерование (чистовое)	Точение (полу-чистовое) Точение (чистовое)	Точение (полу-чистовое) Точение (чистовое)					Точение (полу-чистовое)		
4		Шлифование предвари-тельное		Шлифование предвари-тельное	Шлифование предвари-тельное							
5				Шлифование окончательное	Шлифование окончательное							

Группа оборудования — ***Токарная***

Тип оборудования — ***с ЧПУ***

Множество схем установки — ***В патроне 3-х кулачковом и люнете*** / ***В патроне 3-х кулачковом и центрах***

Рис. 2.8 Группирование переходов при формировании ТМ КМД

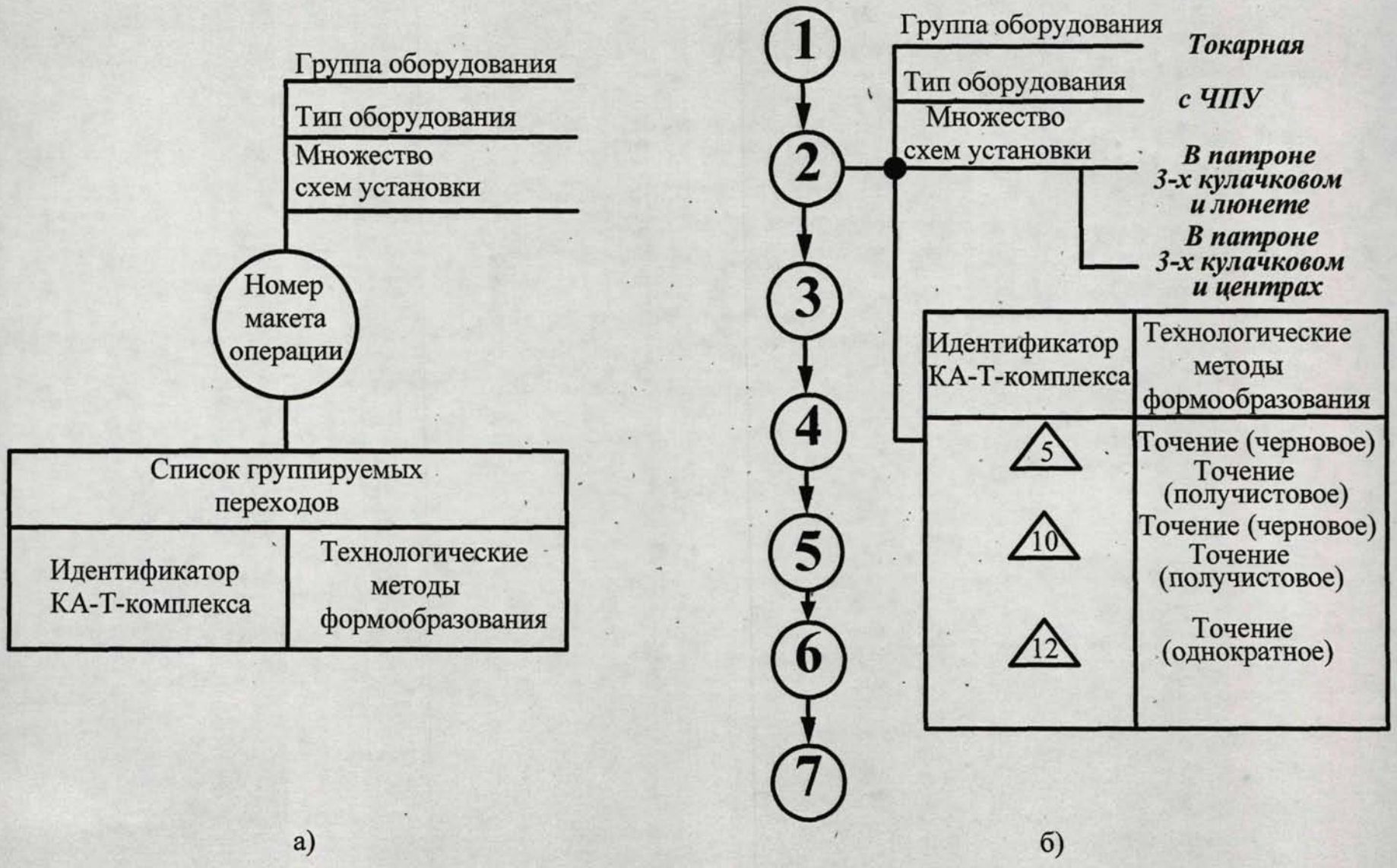


Рис. 2.9 Структура описаний макета операции (а) и ТМ КМД (б)

Полную информацию о детали, допускающую разработку МТП содержит КАМД (рис.2.6, б). При последовательной подготовке производства разработка МТП начинается при получении аналога КАМД – рабочего чертежа детали. Технологическое моделирование на основе КАМД выполняют за 2 этапа:

1) разработка технологических операций формообразования;

2) окончательная доработка МТП, структуру которого определяет последовательность операций изготовления детали.

На первом этапе происходит трансформация макетов операций в технологические операции формообразования (рис. 2.10). На основе КАМД определяют вид и метод изготовления заготовки, а для заготовки несложной формы (например, проката) – ее геометрические размеры. Для каждой операции назначают единственную СУ, выбирают тип и модель оборудования. Схему установки назначают в соответствии с принципом совмещения баз и с учетом жесткости заготовки. Выбираемые тип и модель оборудования, должны обеспечивать реализацию технологических методов, достижение соответствующих значений технологических атрибутов, а также возможность установки заготовки заданных геометрических размеров.

Последовательность формообразующих технологических операций отличается от последовательности макетов в ТМ КМД. Разработка операций ведется путем корректировки макетов “от заготовки к детали”. В первой технологической операции используют “черные” установочные базы, а в последующих – обработанные поверхности КА-Т-комплексов. В первой операции необходимо выбрать СУ, обеспечивающую обработку максимально возможного числа КА-Т-комплексов. При выборе единственной СУ для каждой из остальных операций необходимо учитывать возможность обработки КА-Т-комплексов за один установ. Наличие единственной СУ позволяет для каждой технологической операции формообразования выбор типа приспособления, позволяющего ее реализацию.

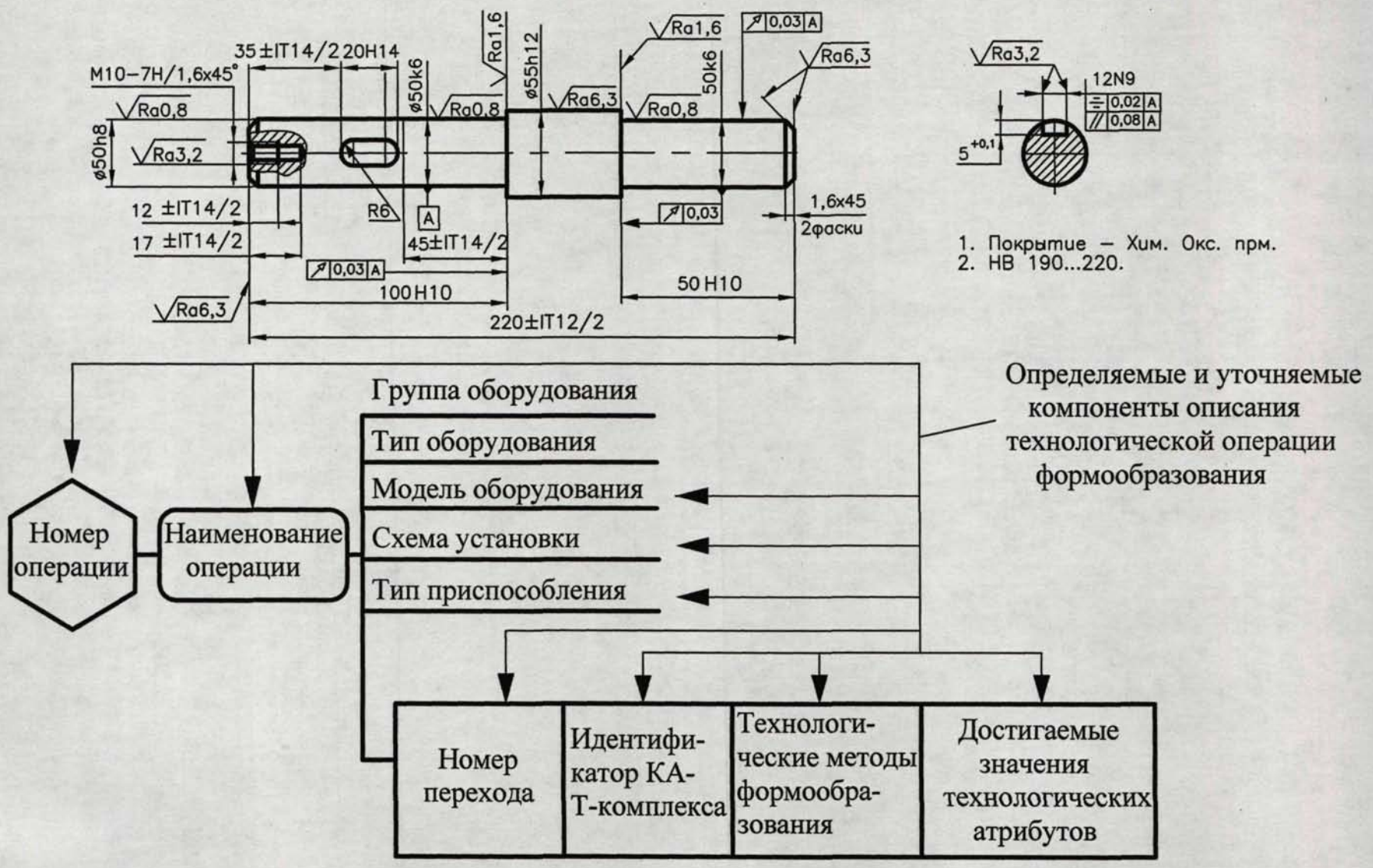


Рис. 2.10 Разработка описания технологической операции формообразования, выполняющаяся на основе КАМД

Помимо переходов, направленных на формообразование КА-Т-комплексов поверхностей детали, зачастую необходимо формообразование искусственных технологических баз (центровых отверстий, лысок и пр.), что требует выделения дополнительных переходов и, соответственно, технологических методов формообразования. Операции обработки КА-Т-комплексов связующих поверхностей следует выполнять до окончательной обработки, а легкодеформируемые поверхности КА-Т-комплексов (наружные резьбы, шлицы и пр.) – на завершающих операциях.

Корректировка ТМ КМД и установление всех компонентов технологических переходов ведет к определению последовательности формообразующих технологических операций. Описание каждой операции содержит последовательность технологических и вспомогательных переходов, данные о наименовании используемого оборудования и типе применяемого приспособления.

Технологическая модель, сформированная на основе КАМД (ТМ КАМД) – упорядоченная последовательность представленных в маршрутном изложении технологических операций, необходимых для формообразования всех КА-Т-комплексов КАМД.

Представленные в ТМ КАМД технологические операции формообразования – главные составляющие МТП (рис. 2.11). Любой МТП, реализующийся в производстве, кроме формообразующих, включает и операции, базирующиеся на технологических методах отличных от резания физической природы (термическая и химико-термическая обработка, мойка, технический контроль, нанесение покрытий и т.д.) и содержит описание общих данных (код материала, вид заготовки, коэффициент использования материала и пр.) Наибольшее влияние на структуру МТП влияют операции термической и химико-термической обработки (ХТО).

Формирование конструкторских представлений и соответствующих им технологических моделей позволяет реализовать процесс совмещенной разработки деталей машин (рис. 2.12, 2.13). Изложенный подход создает методи-

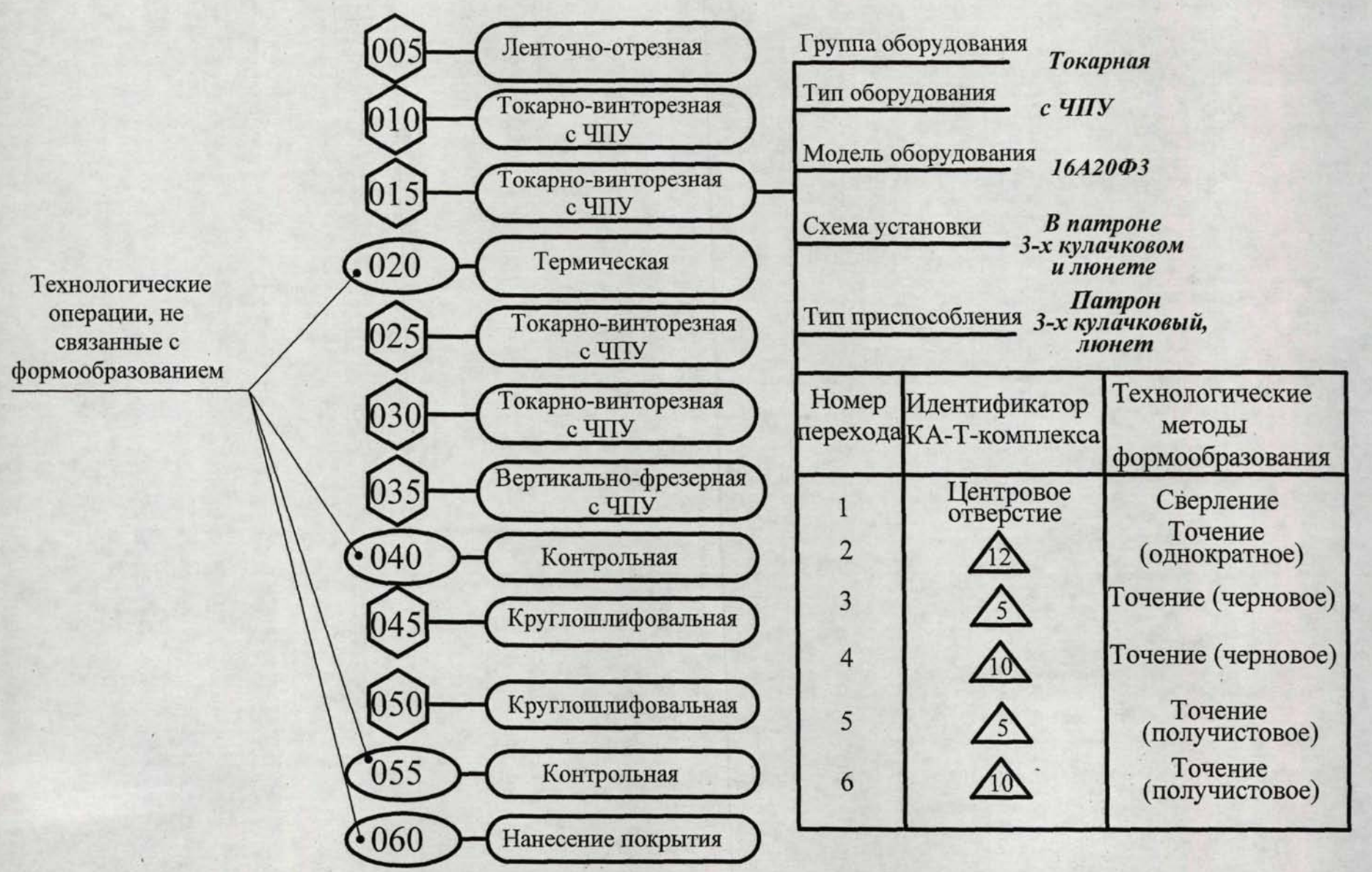


Рис. 2.11 Операции, основанные технологических методах различной физической природы, в составе МТП изготовления детали

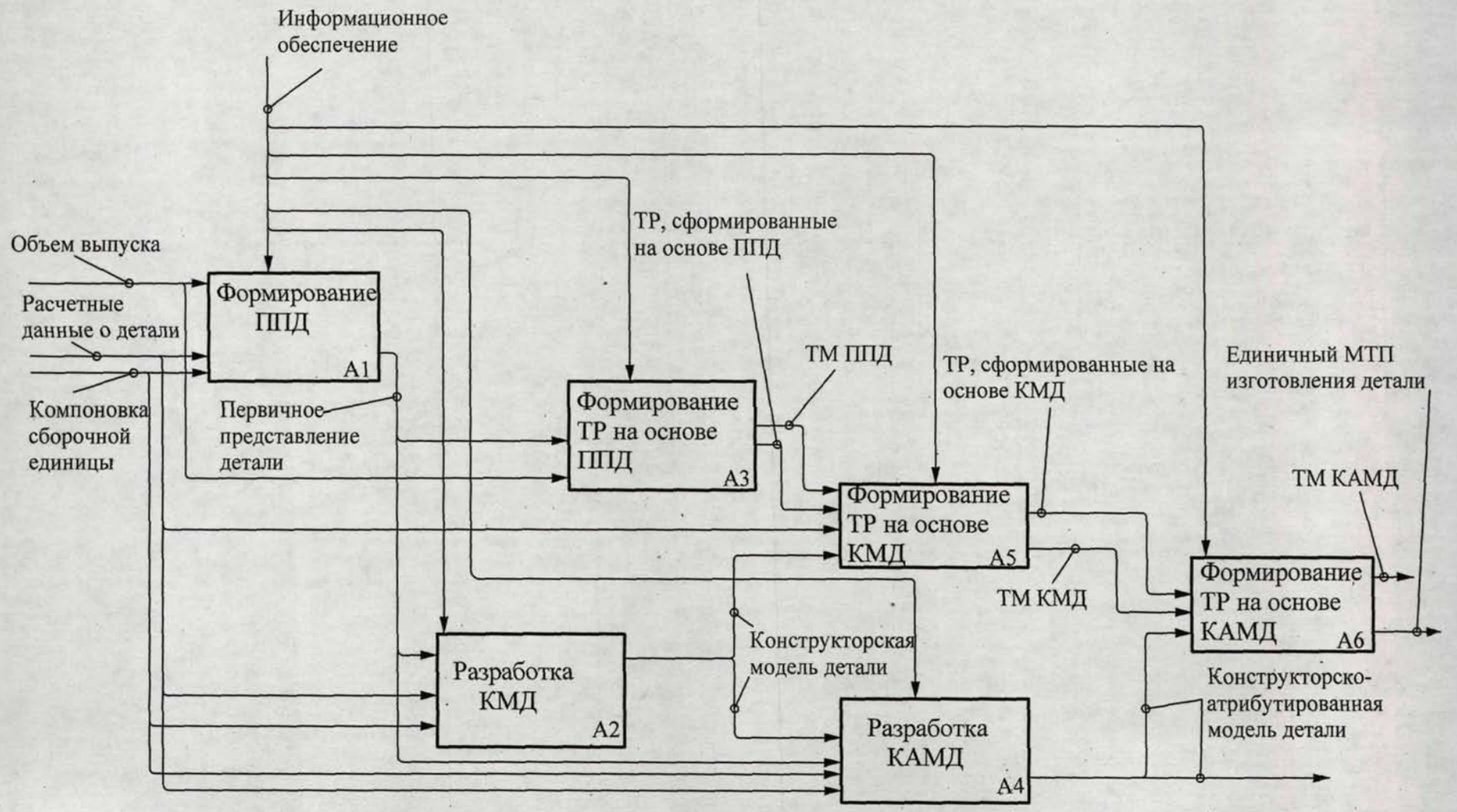


Рис. 2.12 Структурная диаграмма совмещенной разработки конструкции детали и единичного МТП ее изготовления

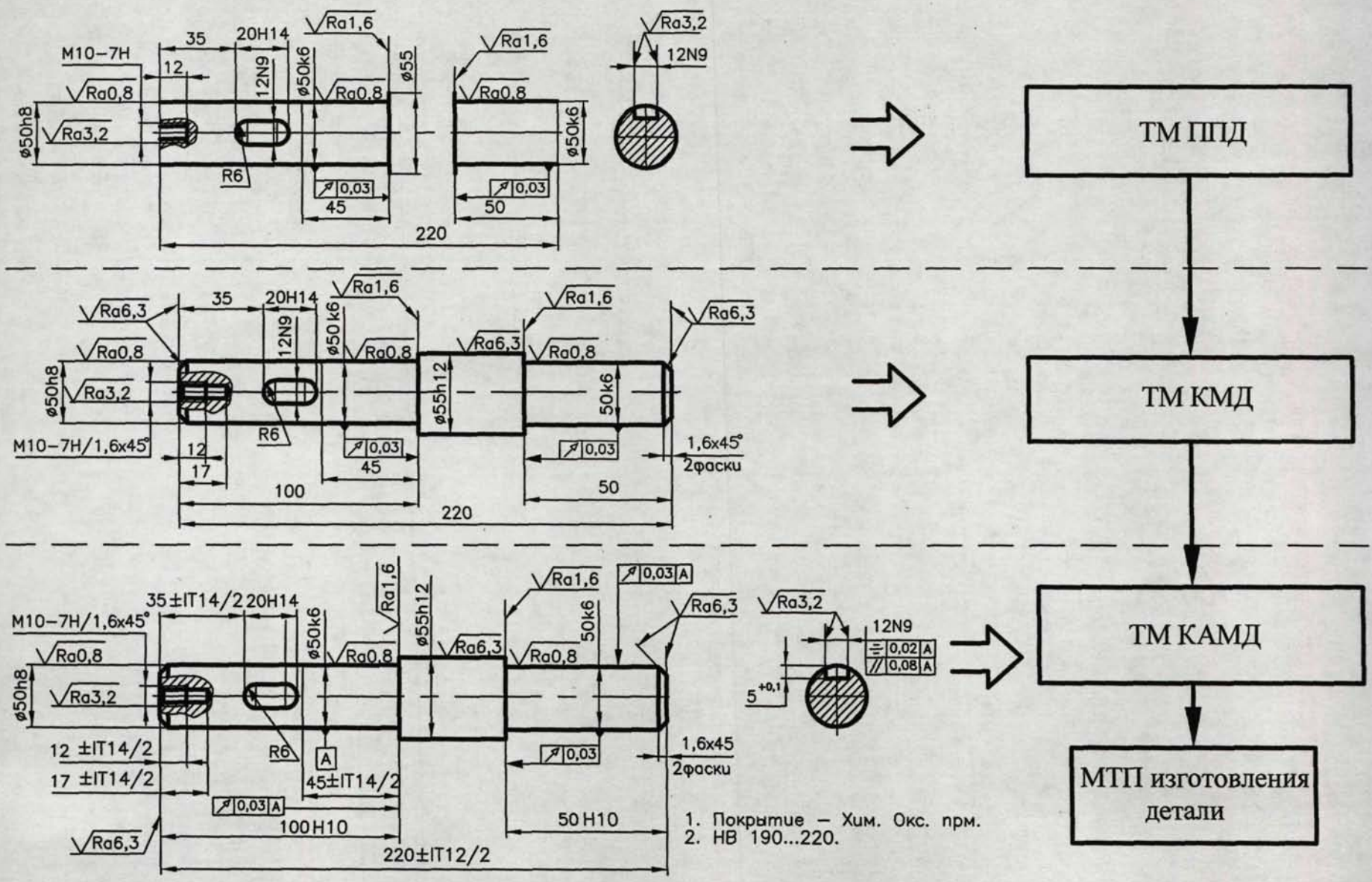


Рис. 2.13 Схема совмещенной разработки конструкции детали и единичного МТП ее изготовления

ческую базу для совмещенной подготовки производства деталей, а при наличии математического и программного обеспечений позволяет реализовывать формирование ТМ ППД и ТМ КМД не только в диалоговом, но и практически в пакетном режиме. Это создает условия для значительного сокращения длительности разработки конструкций деталей и МТП по сравнению с последовательным, традиционным подходом.

Указанный подход реализуем при совмещенной подготовке производства деталей различных классов, ТП изготовления которых не требуют операций ХТО. Для Т-комплексов можно задавать показатели твердости (HRC, HB, HV) или предел текучести материала, что позволяет предварительно определять вид и место ХТО в процессе. Реализация совмещенной подготовки производства подразумевает возможность формирования множеств вариантов на каждой стадии представления конструкций деталей и соответствующих им технологических моделей.

2.3. Выводы по главе 2

1. Моделирование конструкций разрабатываемых деталей сочетанием комплексов их поверхностей, связанных общностью технологии формообразования, при заданных значениях технологических атрибутов позволяет получать представления деталей, содержащие информацию, достаточную для формирования моделей проектных ТР соответствующих уровней.

2. Первичное представление разрабатываемых деталей совокупностью конструкторско-атрибутированных технологических комплексов исполнительных поверхностей позволяет формировать проектные ТР, направленные на обеспечение эксплуатационных свойств исполнительных поверхностей, еще до получения полной информации о конструкции детали.

3. Технологическая модель, соответствующая первичному представлению детали, отображаемая совокупностью технологических методов формообразования конструкторско-атрибутированных Т-комплексов исполнительных поверхностей, может использоваться как основа для разработки единичного маршрутного технологического процесса или поиска процесса-аналога.

4. Геометрическая форма детали определяется при присоединении к конструкторско-атрибутированным Т-комплексам исполнительных поверхностей комплексов связующих поверхностей и уточнением состава комплексов исполнительных поверхностей с конкретизацией внутри – и межкомплексных геометрических размеров.

5. Маршрутный технологический процесс изготовления детали может быть сформирован введением в технологическую модель, соответствующую конструкторско-атрибутированной модели детали, операций, базирующихся на использовании технологических методов, не связанных с прямым формообразованием поверхностей детали.

ГЛАВА 3. ГЕНЕРИРОВАНИЕ ВАРИАНТОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ПРИ СОВМЕЩЕННОЙ ПОДГОТОВКЕ ПРОИЗВОДСТВА ДЕТАЛЕЙ МАШИН

3.1. Вариантность ТР, формируемых при совмещенной подготовке производства деталей

Главной особенностью предложенного процесса подготовки производства деталей (см. гл. 2) является одновременность формирования КМД и ТМ ППД, также КАМД и ТМ КМД. Результаты совмещаемых этапов не должны требовать существенных изменений ранее сформированных технологических моделей. После создания КМД должны быть минимальными изменения элементарных маршрутов обработки КА-Т-комплексов исполнительных поверхностей, а после формирования КАМД желательна минимальная корректировка макетов технологических операций. Ограниченная информация, содержащаяся в ППД, оставляет за конструктором право не только дополнять ее от ППД к КМД и от КМД к КАМД, но также изменять состав КА-Т-комплексов, геометрические размеры и технологические атрибуты, исходя из собственных соображений, а также требований технологичности, возможности использования метрологического обеспечения и пр. Если при КПП выполняют все этапы разработки (см. гл. 1), то на стадии рабочего проекта высока вариантность конструкции не изделия или сборочной единицы (наиболее предпочтительный вариант выбирают на стадии эскизного или технического проекта), а отдельных деталей. Если большая часть КПП сосредоточена на стадии рабочего проекта, то существует вариантность как конструкции сборочной единицы, так и входящих в нее деталей. Для исследования совмещенной подготовки производства деталей предпочтителен первый случай, тогда как рассмотрение второго сопряжено с особенностями конструирования конкретной сборочной единицы и выходит за рамки данной работы.

Для сокращения длительности подготовки производства при использовании совмещенного проектирования необходимо, чтобы изменения, вносимые в ранее разработанные представления конструкций (ППД или КМД) не требовали бы существенных изменений ранее сформированных технологических моделей: от ТМ ППД к ТМ КМД и от ТМ КМД к ТМ КАМД (см. рис. 2.13). В идеальном случае, конструкция детали от ППД к КМД только дополняется путем внесения КА-Т-комплексов связующих поверхностей, а от КМД к КАМД – путем указания технологических атрибутов уровня детали. В действительности возникнет необходимость корректировки ранее сформированных представлений:

– при разработке КМД допустима корректировка состава, геометрических размеров и технологических атрибутов КА-Т-комплексов исполнительных поверхностей;

– при разработке КАМД возможно изменение ранее назначенных технологических атрибутов и геометрических размеров.

Пример изменений КА-Т-комплексов исполнительных поверхностей и технологических атрибутов детали “вал” (см. рис. 2.5) при разработке КМД иллюстрирует рис. 3.1.

Совмещенная разработка допускает существование альтернативных конструкторских представлений в пределах этапа, каждое из которых приводит к разработке детали требуемого служебного назначения. В частности, для детали “стакан” на основе единственного варианта ППД (рис. 3.2) возможна разработка, например, двух вариантов КМД (рис. 3.3), обеспечивающих ее служебное назначение в изделии, а, значит, как минимум двух возможных вариантов ТМ КМД.

Отсутствие полной информации о конструкции детали в ее первичном представлении, существенно повышает вариантность формируемых технологических моделей, прежде всего ТМ КМД и ТМ КАМД. Источники вариантности

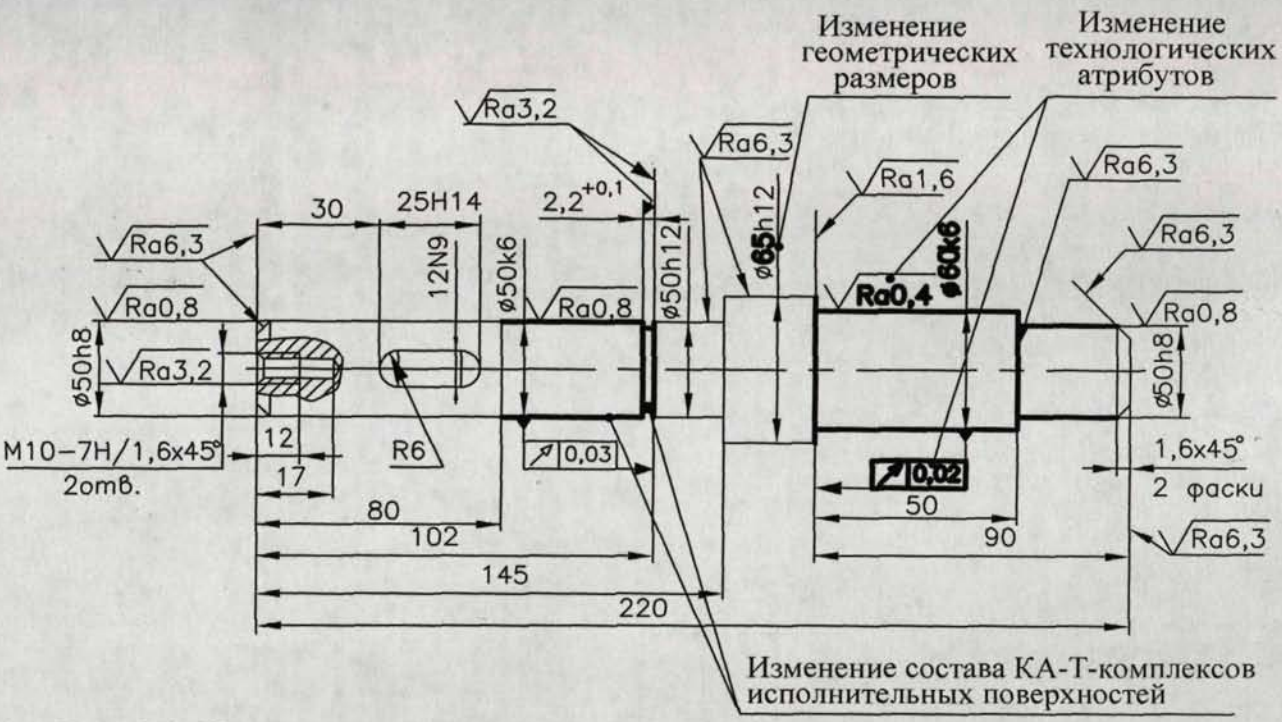


Рис. 3.1 К иллюстрации возможных изменений, вносимых в первичное представление детали "вал" (см. рис. 2.5), при разработке ее конструкторской модели

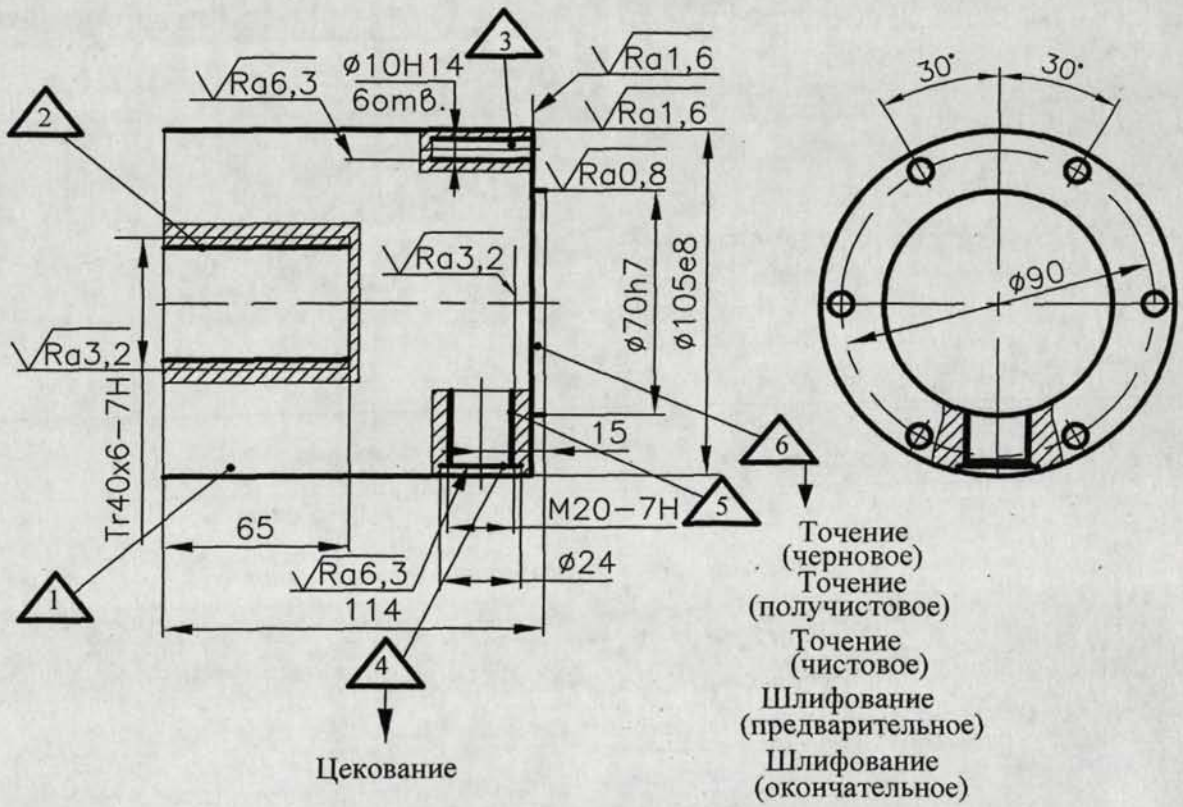


Рис. 3.2 Первичное представление детали "стакан" и элементарные маршруты обработки некоторых КА-Т-комплексов исполнительных поверхностей

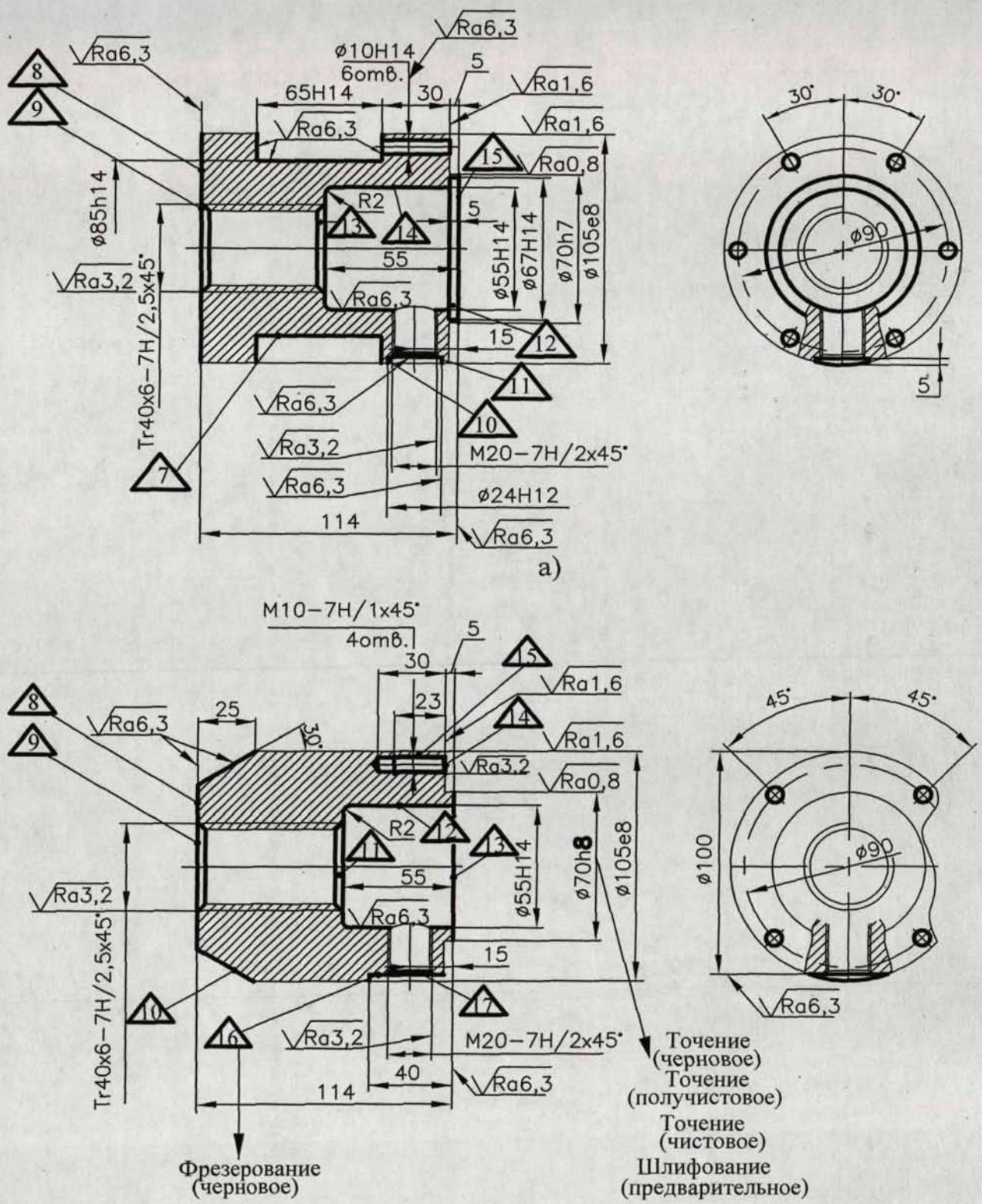


Рис. 3.3 Варианты КМД на примере детали "стакан", сформированные:
а) без изменения разработанного ППД (см. рис. 3.2);
б) с изменением разработанного ППД, вызывающим корректировку элементарных маршрутов обработки КА-Т-комплеков

при разработке МТП – альтернативные технологические методы, обеспечивающие заданные технологические атрибуты (показатели качества), группы и типы применяемого оборудования (табл. 8) и СУ.

Таблица 8.

Группы оборудования, допускающие реализацию технологических методов формообразования

Технологические методы формообразования	Альтернативные группы оборудования, допускающие реализацию метода
Точение	Токарная
Накатывание	
Алмазное выглаживание (наружные поверхности)	
Фрезерование	Фрезерная, Сверлильно-фрезерно-расточная, Расточная
Шлифование (круглое)	Шлифовальная
Шлифование (плоское)	
Полирование	Полировальная, шлифовальная
Полирование абразивной лентой	Полировальная
Притирка	Доводочная
Суперфиниширование	
Сверление	Токарная, Расточная, Сверлильная, Сверлильно-фрезерно-расточная
Зенкерование	
Развертывание	
Растачивание	
Хонингование	Хонинговальная
Алмазное выглаживание (внутренние) поверхности)	Расточная, Сверлильно-фрезерно-расточная
Раскатывание	

Изменения, вносимые в конструкторское представление на более позднем этапе, вызывают корректировку информации, полученной из технологической модели, сформированной на более раннем этапе. В частности, на рис. 3.3, б. представлен случай, когда в ходе разработке ППД “стакан” (см. рис. 3.2) для наружной цилиндрической поверхности КА-Т-комплекса с идентификатором № 6 был назначен квалитет IT 7, исходя из того, что в сборочной единице при сопряжении детали с ответной деталью должна обеспечиваться посадка с зазором H7/f7. По завершению разработки КМД выбирается посадка с большим за-

зором (H8/h8) (рис. 3.3, б), существенно не влияющая на эксплуатационные свойства детали в целом в сборочной единице. Указанное изменение приводит к корректировке маршрута обработки указанного КА-Т-комплекса в ТМ ППД. Аналогично назначение технологических атрибутов уровня детали, выполняющееся при разработке КАМД, отражается на структуре и последовательности макетов операций, представленных в ТМ КМД. В частности, назначение допусков радиального и торцевого биений вызывает корректировку макетов операций в ТМ КМД из-за необходимости окончательной обработки поверхностей, связанных допусками, в одной операции.

В этих условиях формирование технологических моделей необходимо осуществлять по схеме, предусматривающей разработку (генерирование) множества их возможных вариантов, оценку и выбор единственного варианта для продолжения разработки МТП (рис. 3.4).

Схему совмещенной разработки конструкции детали и МТП ее изготовления в условиях вариантности иллюстрирует рис. 3.5. В данном примере число вариантов, формирование которых возможно на основе каждого из предыдущих этапов равно двум. Варианты технологических моделей, независимо от того, использованы они при разработке или нет (см. рис. 3.5), должны способствовать сокращению суммарной длительности разработки, а формируемый на их основе МТП – обеспечивать предъявляемые к конструкции требования.

Длительность формирования МТП в ходе совмещенной разработки определяется суммарной длительностью разработки технологических моделей (ТМ ППД, ТМ КМД, ТМ КАМД) и окончательной доработки МТП. Очевидно, что корректировка технологических моделей, вызванная изменениями конструкторских представлений, увеличивает длительность разработки МТП. Если корректировка будет существенна, то процесс совмещенной подготовки производства станет малоэффективным, а сокращение длительности – невозможным.

Любой объект разработки при совмещенной подготовке производства представим в виде:

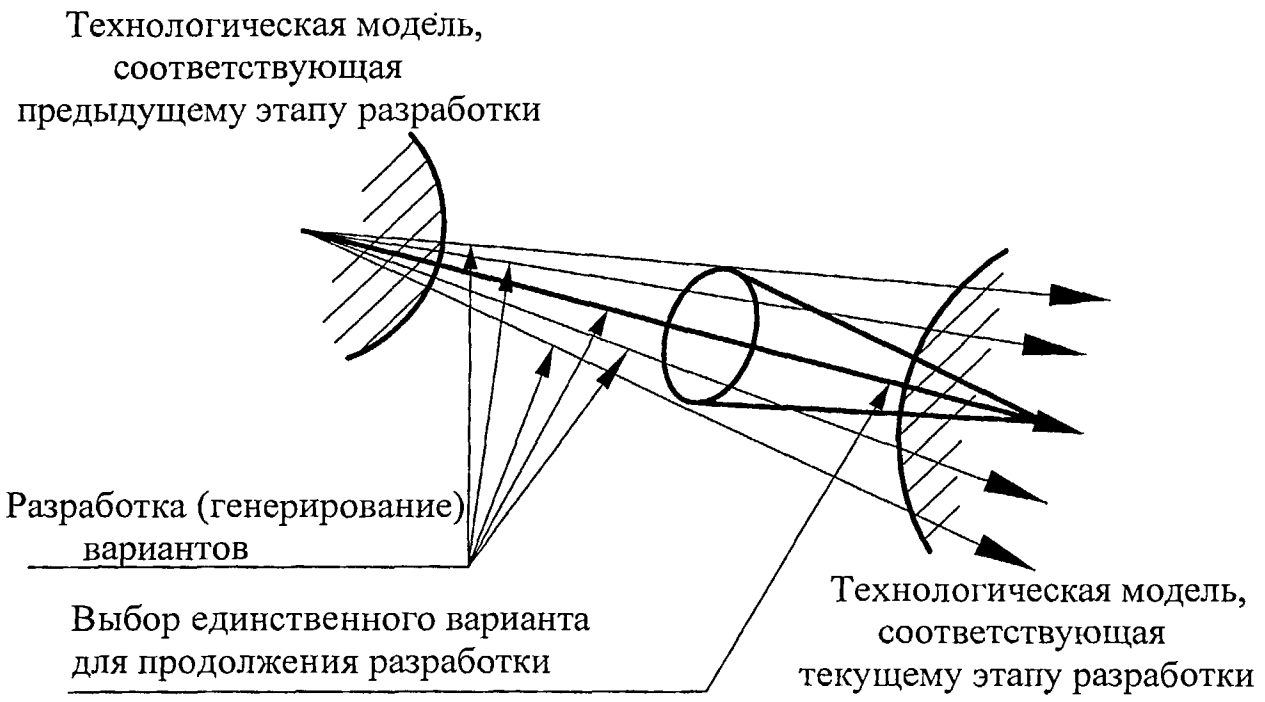


Рис. 3.4 Схема формирования технологических моделей при совмещенной разработки конструкции детали и МТП

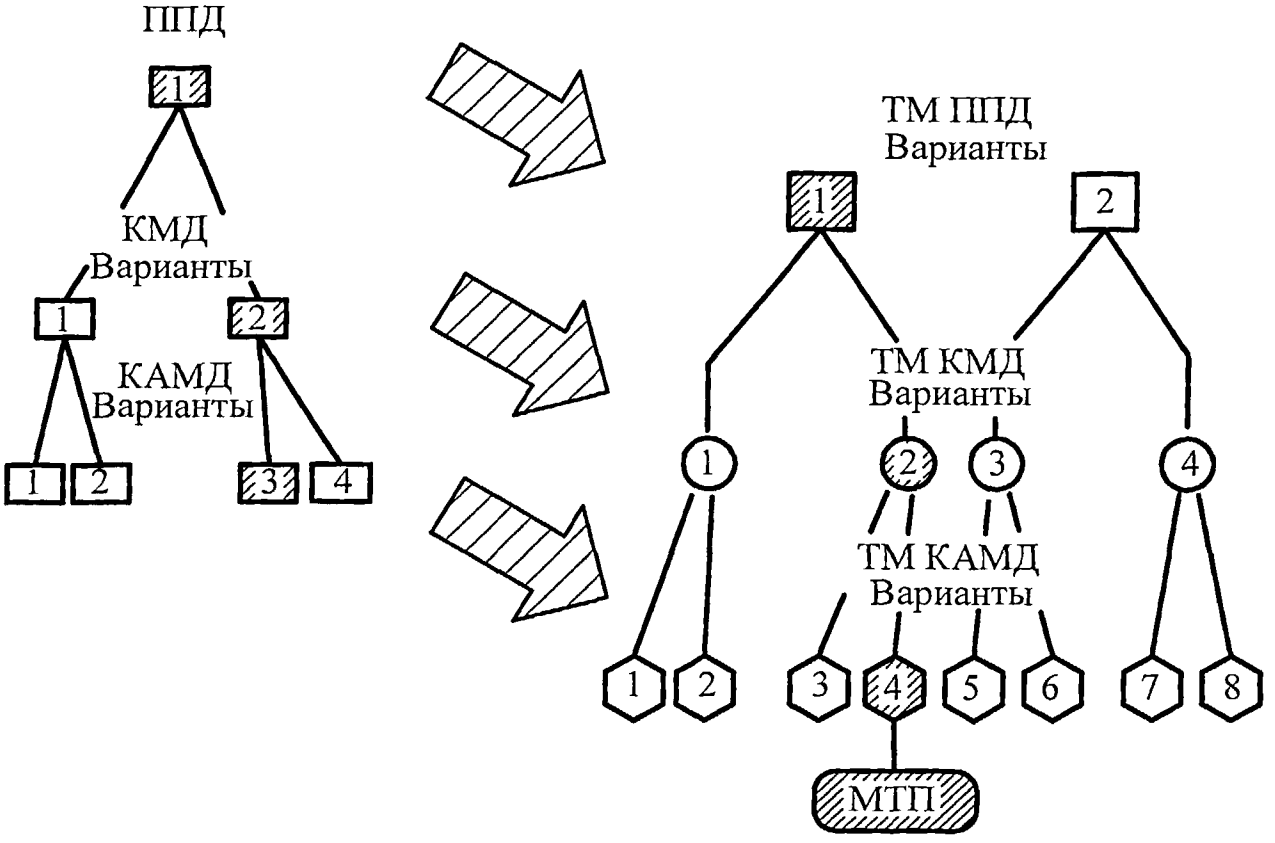


Рис. 3.5 Вариантность, сопровождающая процесс совмещенной разработки конструкции и МТП

$$A\ (a_0, a_1, a_2, \{a_{ij}\}, \ldots, a_s), \qquad (3.1)$$

где А – термин, определяющий функциональный класс объекта; a_0 – идентификатор экземпляра объекта; $a_1 \ldots a_s$ – компоненты описания объекта; s – число компонентов описания. К объектам совмещенной подготовки производства относят ППД, КМД, КАМД, а также соответствующие им технологические модели и МТП.

Технологические модели представимы множеством различных компонентов, основным из которых является технологический метод (M_i), считающийся элементарной структурной единицей МТП изготовления детали. В соответствии с (3.1) технологический метод, реализующийся при изготовлении детали, формально представим в виде:

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ МЕТОД (НАИМЕНОВАНИЕ МЕТОДА, ИДЕНТИФИКАТОР КА-Т-КОМПЛЕКСА, {УСЛОВИЯ РЕАЛИЗАЦИИ}, {РЕЗУЛЬТАТ РЕАЛИЗАЦИИ}).

Совокупность технологических методов, применение которых обеспечивает формообразование детали и заданные значения технологических атрибутов, в значительной степени, определяет длительность разработки МТП, а при его реализации – трудоемкость и затраты на изготовление детали.

Описания технологических моделей и МТП в соответствии с (3.1):

$$\text{ТМ ППД}\ (a_0, \{M_1, M_2, M_3, M_4\}^{N=2}, \ldots, \{M_n, M_f\}^{N=5});$$

$$\text{ТМ КМД}\ (b_0, \{M_1, M_2\}^{maket1}, \{M_3, M_4\}^{maket2}, \ldots, \{M_m, M_s\}^{maket\ L});$$

$$\text{ТМ КАМД}\ (c_0, \{M_1, M_2\}^{foper1}, \{M_3, M_5\}^{foper2}, \ldots, M_k^{foper\ M});$$

$$\text{МТП}\ (d_0, \{M_1, M_2\}^{oper1}, \{M_3, M_5\}^{oper2}, \ldots, M_h^{oper\ S}), \qquad (3.2)$$

где a_0, b_0, c_0, d_0 – идентификатор экземпляра (варианта) соответственно ТМ ППД, ТМ КМД, ТМ КАМД, МТП; f, s, k, h – число технологических методов M_i (формообразования и изготовления) соответственно в ТМ ППД, ТМ КМД, ТМ КАМД и МТП; символы “N”, “maket”, “foper”, “oper” соответственно означают упорядоченность технологических методов – по достигаемой точности, в макетах операций, в формообразующих технологических операциях, в операциях

изготовления маршрутного технологического процесса; L, M, S – соответственно число макетов операций в ТМ КМД, формообразующих технологических операций в ТМ КАМД и операций изготовления в МТП.

Между технологическими моделями, соответствующими различным этапам представления конструкции при совмещенной подготовке производства, будут существовать отношения подобия. Оценивали содержательное и структурное подобие ТР [39].

Оценку содержательного подобия вариантов (i, j) технологических моделей по компоненту описания “технологический метод” определяли по формуле [39]:

$$S_{ij}^{\text{сод.}} = \frac{2 \cdot b}{m + n}, \qquad (3.3)$$

где b – число пар тождественных технологических методов; m, n – число технологических методов соответственно в вариантах i и j.

Тождественными считали технологические методы, соответствующие технологическим моделям различных уровней, если тождественны компоненты их формального описания: НАИМЕНОВАНИЕ МЕТОДА, ИДЕНТИФИКАТОР КА-Т-КОМПЛЕКСА. Сказанное справедливо, если при конструировании не меняется группа материала детали, поскольку тогда существенно изменяются условия и результаты применения технологических методов.

В соответствии с (3.3) можно оценивать содержательное подобие технологических моделей, соответствующих различных этапам представления конструкции детали – ТМ ППД, ТМ КМД, ТМ КАМД. В любом варианте технологической модели, представленном в соответствии с (3.2), можно выделить множество технологических методов с тождественным атрибутом НАИМЕНОВАНИЕ МЕТОДА, определяющим их уникальность. Оценки подобия множеств уникальных технологических методов также могут быть получены в соответствии с (3.3). Выделение списка уникальных технологических методов формообразования, содержащихся в ТМ ППД, направлено на раннюю оценку возмож-

ности использования имеющегося оборудования, с учетом его технологических возможностей, для изготовления проектируемой детали.

Содержательное подобие не учитывает место в технологических моделях методов формообразования. Вместе с тем, существенное влияние на длительность разработки МТП оказывает формирование его структуры. При совмещенной разработке необходимо, чтобы структуры, в первую очередь, ТМ КМД и ТМ КАМД позволяли формировать последовательность операций МТП без значительных корректировок. Это позволит за минимальное время вносить изменения в ранее сформированные технологические модели и сократить длительность разработки МТП.

Оценку структурного подобия макетов технологических операций, представленных в ТМ КМД и технологических операций формообразования, составляющих ТМ КАМД, определяли по формуле [39]:

$$S^{стр.}_{ТМ\ КМД/\ ТМ\ КАМД} \approx \frac{2 \cdot a}{b + c} \cdot \prod_{i=1}^{a} (S_i^{стр.}), \qquad (3.4)$$

где a – число пар подобных макетов операций и технологических операций формообразования; b и c – соответственно число макетов операций в ТМ КМД и технологических операций формообразования в ТМ КАМД; $S_i^{стр.}$ – i –ая оценка структурного подобия макетов операций и операций формообразования.

В макете операции представлены технологические переходы на основе их укрупненного описания, поэтому рассмотрение структуры макетов нецелесообразно, а оценки структурного подобия ($S_i^{стр.}$) в выражении (3.4) могут быть заменены на оценки содержательного подобия макетов в ТМ КМД и операций формообразования в ТМ КАМД ($S_i^{сод.}$), определяемые в соответствии с (3.3):

$$S_i^{сод.} \approx \frac{2 \cdot f}{d + e}, \qquad (3.5)$$

где f – число переходов в макетах операций и в технологических операциях формообразования, для которых тождественны технологические методы фор-

мообразования; d – число переходов в макете операции; e – число технологических переходов в технологической операции формообразования.

Оценки подобия (3.3), (3.4) следует использовать как меры соответствия вариантов ТМ ППД и ТМ КМД, ТМ КМД и ТМ КАМД (рис. 3.6, 3.7). Варианты технологических моделей можно использовать для дальнейшей разработки в том случае, если оценки подобия быть выше граничных значений. Показано [39], что для того, чтобы выбранное проектное ТР могло рассматриваться как базовое для дальнейшей разработки, оно должно содержать как минимум половину компонентов описания конечного результата, например, процесс-аналог должен содержать половину операций создаваемого МТП.

В качестве граничных значений содержательного ($[S^{сод.}_{ТМ\ КМД/ТМ\ КАМД}]$) и структурного ($[S^{стр.}_{ТМ\ КМД/ТМ\ КАМД}]$) подобия ТМ КМД и ТМ КАМД примем:

$$[S^{сод.}_{ТМ\ КМД/ТМ\ КАМД}] = [S^{стр.}_{ТМ\ КМД/ТМ\ КАМД}] = 0{,}5\,.$$

Ввиду того, что ТМ ППД формируется на базе неполной информации даже о геометрической форме детали, граничное значение степени содержательного подобия ТМ ППД и ТМ КМД ($[S^{сод.}_{ТМ\ ППД/ТМ\ КМД}]$) допустимо понизить до 0,33 (рис. 3.6).

Использование подобия в совмещенной подготовке производства деталей основывается на следующей идее: если оценки подобия превышают граничные значения, то формирование технологических моделей является этапами разработки МТП, не требующими значительной корректировки, вызванной изменениями конструкции детали, а значит, совмещаться во времени будут процессы именно создания конструкции и построения МТП, а не корректировки последнего. За счет этого возможно и сокращение суммарной длительности (рис. 3.8). Учитывая, что процедуры построения ТМ ПДД и ТМ КМД формализуемы, они могут быть сформированы практически одновременно с окончанием разработки соответствующих конструкторских представлений в автоматическом режи-

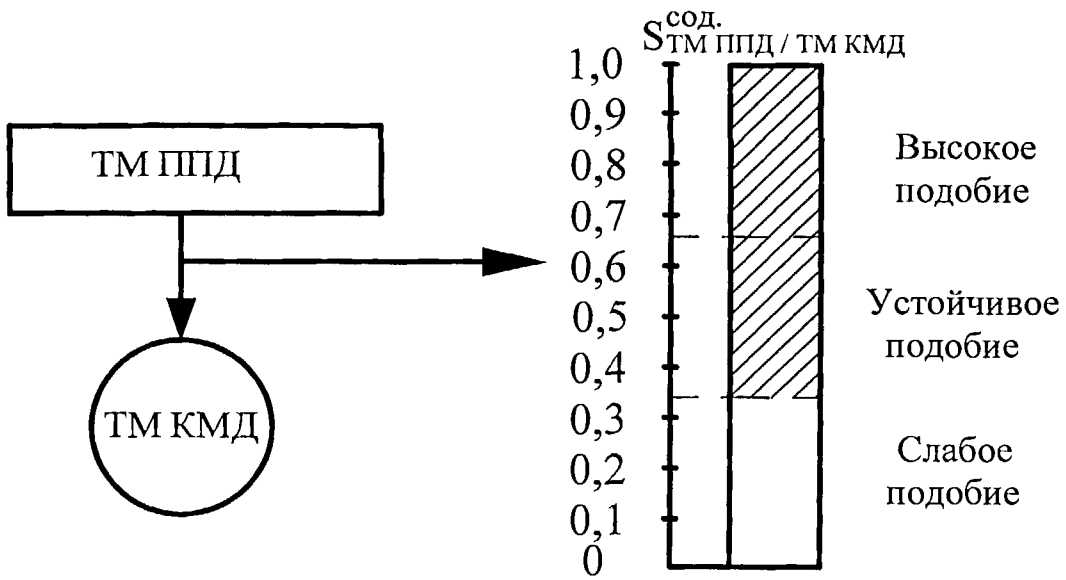


Рис. 3.6 Степень содержательного подобия ($S^{сод.}_{ТМ\ ППД\ /\ ТМ\ КМД}$) как мера соответствия ТМ ППД и ТМ КМД

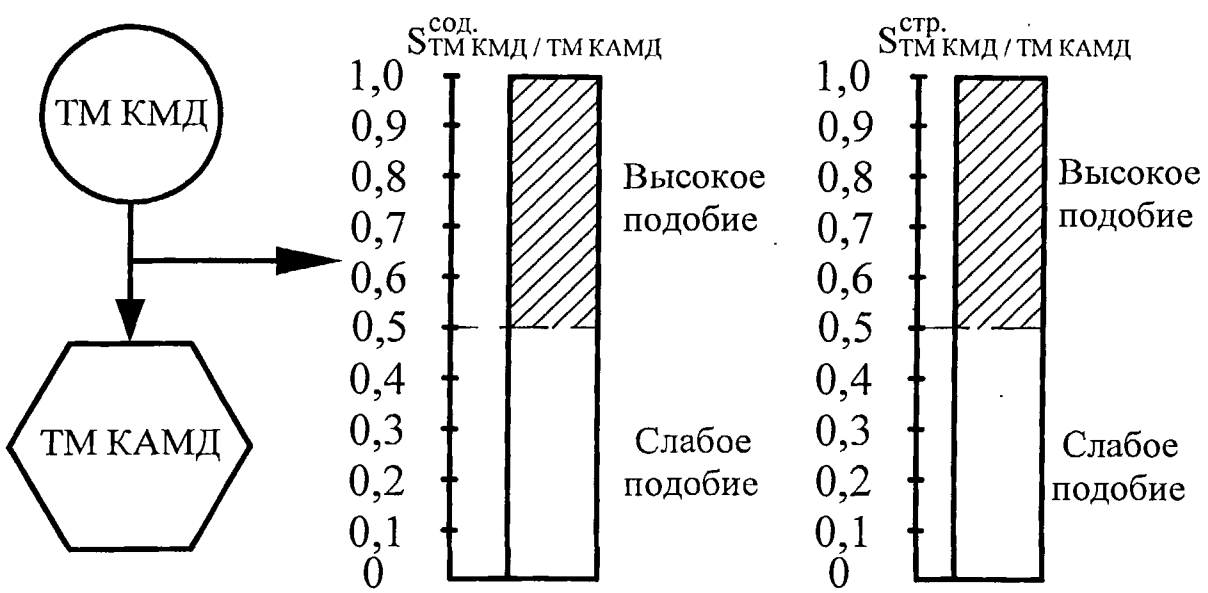
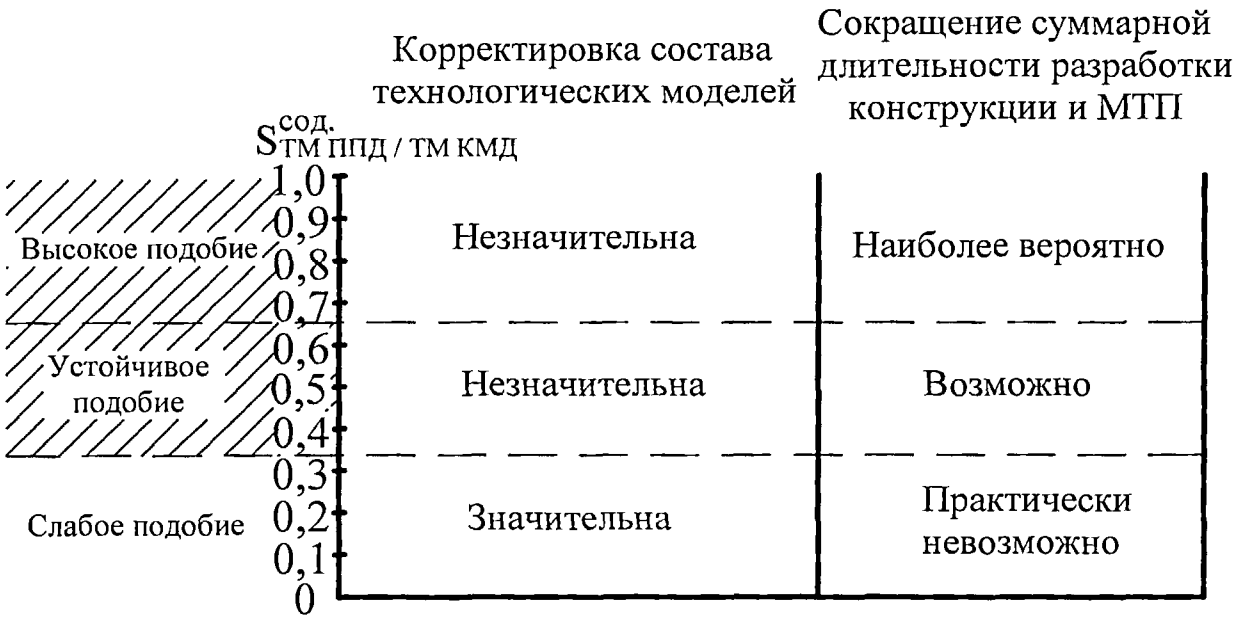
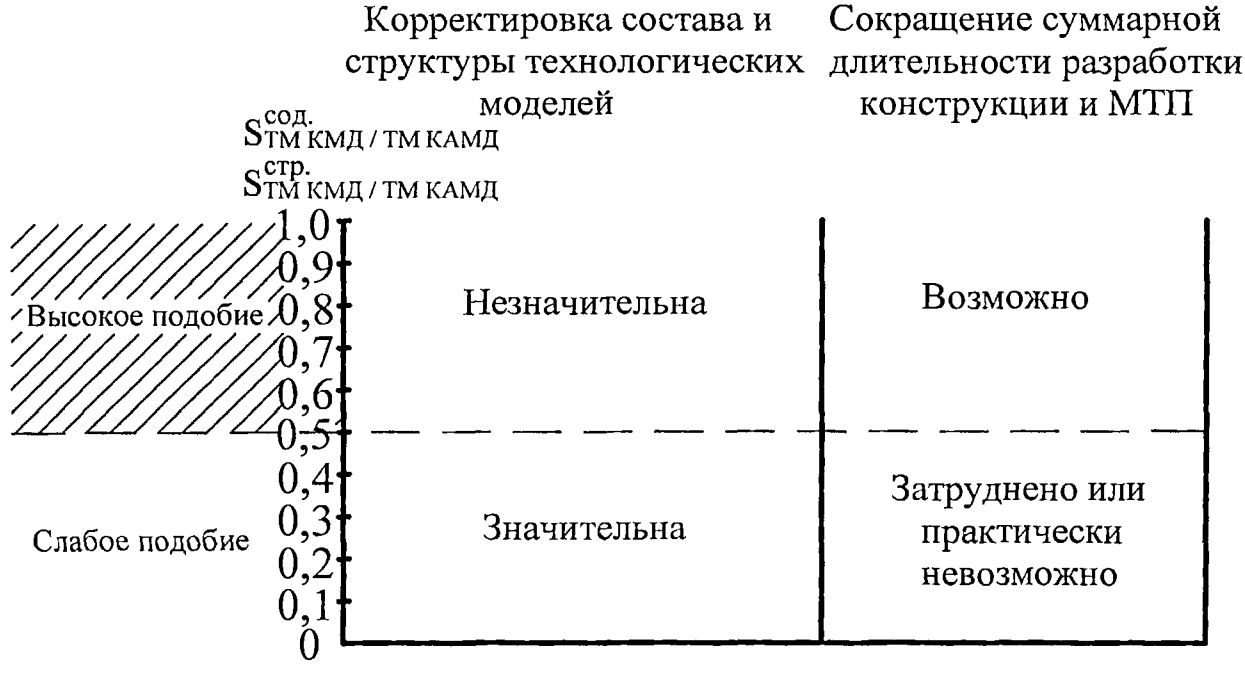


Рис. 3.7 Степени содержательного ($S^{сод.}_{ТМ\ КМД\ /\ ТМ\ КАМД}$) и структурного ($S^{стр.}_{ТМ\ КМД\ /\ ТМ\ КАМД}$) подобия как меры соответствия ТМ КМД и ТМ КАМД



а)



б)

Рис. 3.8 Предположительное влияние оценок подобия на сокращение суммарной длительности разработки конструкции и МТП:
а) содержательного подобия ТМ ППД и ТМ КМД ($S^{сод.}_{ТМ\ ППД\ /\ ТМ\ КМД}$);
б) содержательного ($S^{сод.}_{ТМ\ КМД\ /\ ТМ\ КАМД}$) и структурного подобия ($S^{стр.}_{ТМ\ КМД\ /\ ТМ\ КАМД}$) ТМ КМД и ТМ КАМД

ме. Это позволит обеспечить еще большее сокращение суммарной длительности разработки конструкции и МТП.

Оценки содержательного подобия ТМ ППД и ТМ КМД зависят от количества технологических методов формообразования, которое, в свою очередь зависит от числа КА-Т-комплексов исполнительных поверхностей в ППД и КА-Т-комплексов связующих поверхностей в КМД. Рассмотрены варианты КА-Т-комплексов наиболее распространенных исполнительных поверхностей, для которых варьировались значения IT, Ra, tp в пределах, обеспечивающих различные эксплуатационные свойства (износостойкость, прочность посадок, усталостная прочность, контактная жесткость). Значения точности размеров изменялись в диапазоне IT6...9, параметра шероховатости Ra – в диапазоне Ra0,8...3,2, относительной опорной длины профиля – в пределах $tp_{50}45...tp_{50}70$. Число таких КА-Т-комплексов составило 25. Для каждого из них формировалось до 3 вариантов ЭМОК, гарантирующих их формообразование методами обработки резанием и поверхностно-пластического деформирования и обеспечивающих заданные технологические атрибуты. В табл. 9 отражено число технологических методов, необходимых для формообразования КА-Т-комплексов, в зависимости от параметров IT, Ra или tp. Статистически установлено, что среднее число технологических формообразования любого КА-Т-комплекса исполнительных поверхностей равно 4. Указанному значению не противоречат данные о маршрутах обработки типовых поверхностей [113]. Установлено, что среднее число технологических методов формообразования любого КА-Т-комплекса связующих поверхностей равно 1. Приближенные зависимости числа технологических методов формообразования КА-Т-комплексов исполнительных (N_M^{Is}) и связующих (N_M^{Sv}) поверхностей от числа КА-Т-комплексов соответственно:

$$N_M^{Is} = 4 \cdot N_{KA}^{Is};$$

$$N_M^{Sv} = 1 \cdot N_{KA}^{Sv}, \qquad (3.6)$$

Таблица 9.

Число методов формообразования КА-Т-комплексов исполнительных поверхностей в зависимости от значений технологических атрибутов

Типы поверхностей КА-Т-комплекса	Диапазоны изменения значений технологических атрибутов		Приближенное число технологических методов формообразования в ЭМОК
	IT*	Ra, мкм	
Наружные вращения	9 8 7 6	6,3…3,2 3,2…1,6 1,6…0,8 0,8..0,2	2…3 3…4 4…5 5…7
Внутренние вращения	9 8 7	6,3…3,2 3,2…0,8 0,8…0,4	2..3 3…5 5…7
Плоскости	9 8 7	3,2…1,6 1,6…0,8 0,8…0,2	2…3 3…4 4…6
Резьбовые наружные Резьбовые внутренние	7H 6H 7H 6H	3,2…1,6 1,6…0,4 3,2…1,6 1,6…0,4	2…3 3…4 2…3 3…4
Эвольвентные	9-10 степень точности 8-7 степень точности 5-6 степень точности	3,2…1,6 1,6…0,8 0,8…0,4	1…2 2…3 3…5
Шлицевые	IT 9…10 IT 8 IT 7	10…3,2 3,2…1,6 1,6…0,8	1...2 2..:3 3…4

Примечание: *для резьбовых поверхностей указана степень точности резьбы, для эвольвентных – степень точности зубчатых колес.

где N_{KA}^{Is} – число КА-Т-комплексов исполнительных поверхностей в ППД; N_{KA}^{Sv} – число КА-Т-комплексов связующих поверхностей в КМД. Обозначив

$$\frac{N_{KA}^{Is}}{N_{KA}^{Sv} + N_{KA}^{Is}} = K \qquad (3.7)$$

и приняв, что множества технологических методов формообразования КА-Т-комплексов исполнительных поверхностей в ППД и КМД тождественны (т.е. не

меняются при разработке), получим в соответствии с (3.3) расчетное значение оценки содержательного подобия ТМ ППД и ТМ КМД ($S^{сод.\,расч.}_{ТМ\,ППД/ТМ\,КМД}$) по компоненту "технологический метод":

$$S^{сод.\,расч.}_{ТМ\,ППД/ТМ\,КМД} = \frac{2}{(\frac{1}{K}+1)}. \qquad (3.8)$$

Приведенную зависимость иллюстрирует рис. 3.9. Для определения величины К выбирались детали машин, конструкции которых приведены в прил. 2. Для них формировалось до трех вариантов ППД и КМД. Среднее значение ($K^{ср.}$) для различных вариантов ППД и КМД составит: для детали “шкив” (см. прил. 2) $K^{ср.}$=0,2; для детали “вал” (см. рис. 2.6, б) $K^{ср.}$ = 0,55; для детали “плита” (см. прил. 2) $K^{ср.}$ = 0,7. Анализ конструкций деталей машин показал, что величина К составляет не менее К = 0,2…0,4 и не более К = 0,5...0,75 в зависимости от варианта представления. Это соответствует минимальному значению оценки подобия для большинства деталей ($S^{сод\,расч.}_{ТМ\,ППД/ТМ\,КМД}$), определенному по (3.8), в диапазоне 0,33…0,57, а максимальному – в диапазоне 0,66…0,82. Данное обстоятельство указывает на содержание основной информации о технологии изготовления детали именно в ТМ ППД.

На состав технологических методов формообразования, указываемых в ТМ ППД, влияет вариантность выбора Т-комплексов. В частности, состав КА-Т-комплексов исполнительных поверхностей для различных вариантов ППД может различаться, что указывает на субъективность в действиях конструктора. Максимально возможное число КА-Т-комплексов исполнительных поверхностей (N^{Is}_{KAmax}) в ППД равно числу исполнительных поверхностей (N^{Is}) (каждая поверхность представляется одним КА-Т-комплексом), хотя такое представление нецелесообразно для сокращения длительности разработки:

$$N^{Is}_{KAmax} = N^{Is}.$$

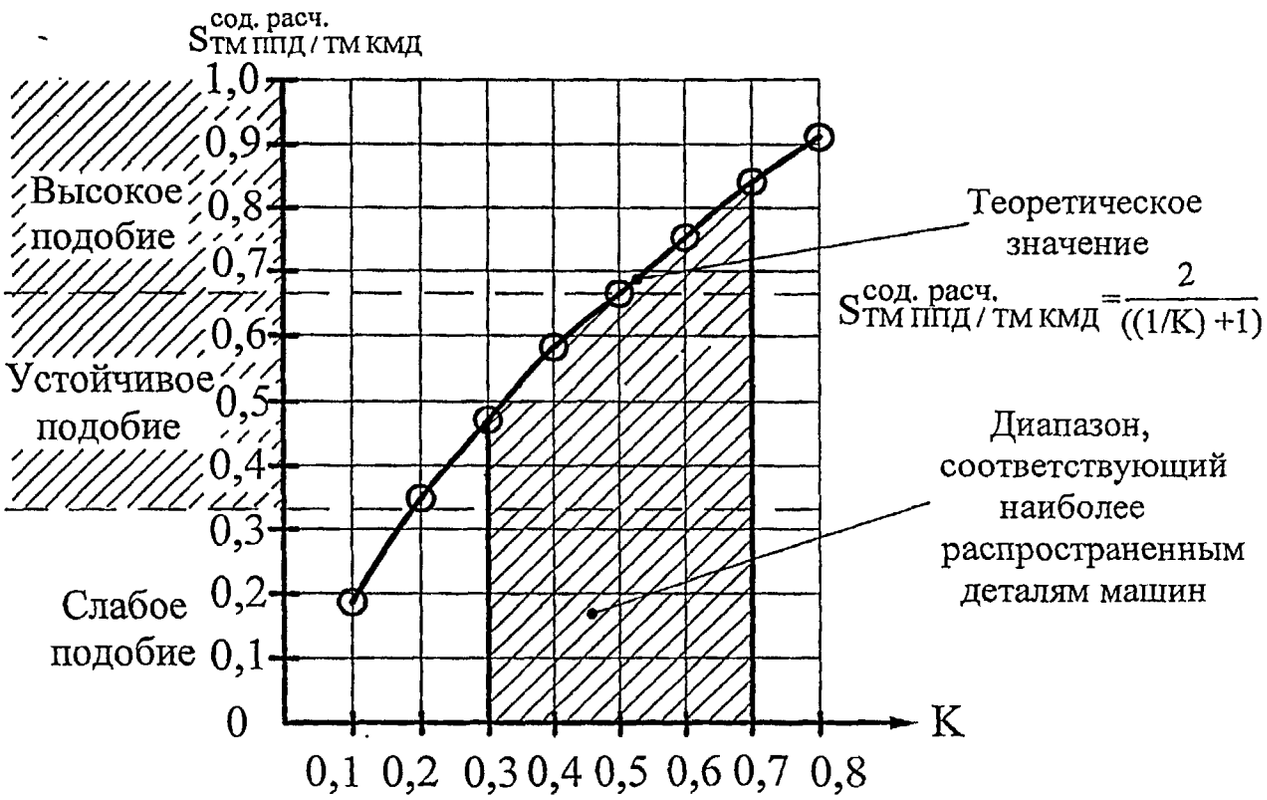


Рис. 3.9 Расчетная зависимость оценки содержательного подобия ($S^{сод. расч.}_{ТМ ППД / ТМ КМД}$) ТМ ППД и ТМ КМД в зависимости от соотношения КА-Т-комплексов исполнительный и связующих поверхностей

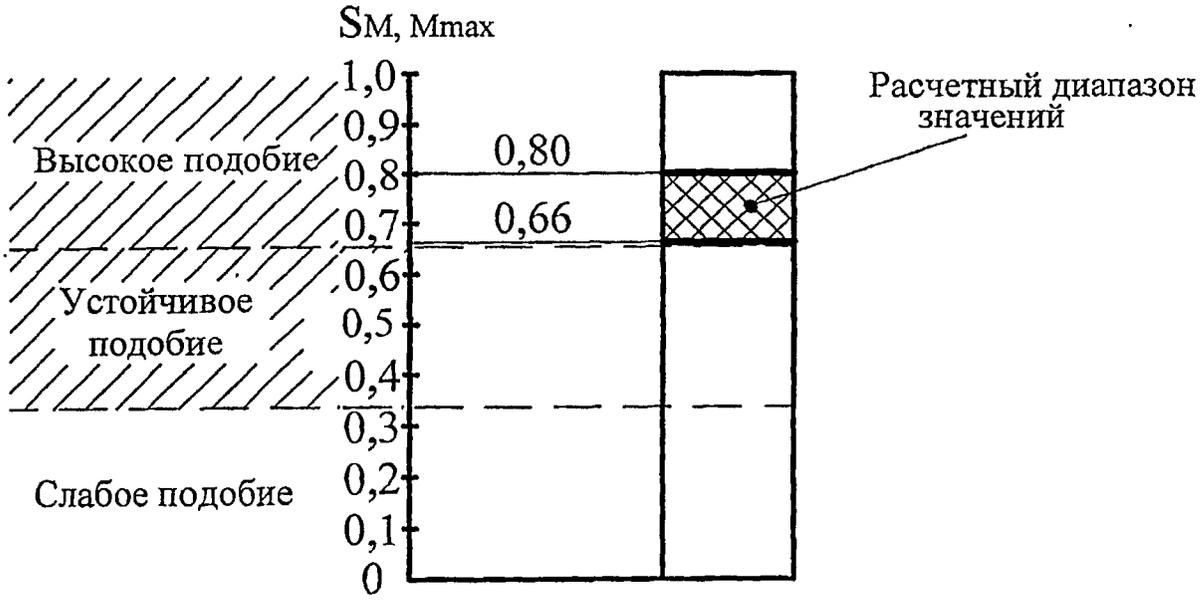


Рис. 3.10 Расчетный диапазон значений оценок содержательного подобия ($S_{M, Mmax}$) вариантов ТМ ППД, сформированных на основе различных вариантов первичного представления

В каждый Т-комплекс (см. прил. 1) входят 2...3 (максимум 4) поверхности. Разработка вариантов первичных представлений различных деталей, позволила установить, что среднее число КА-Т-комплексов исполнительных поверхностей, входящих в ППД, находится в диапазоне:

$$N_{KA}^{Is} = (0{,}5\ldots0{,}66)\cdot N_{KAmax}^{Is}.$$

С учетом (3.6) число технологических методов формообразования, отраженных в ТМ ППД (N_{M}^{Is}), находится в диапазоне:

$$N_{M\,max}^{Is} = 4\cdot N_{KAmax}^{Is};$$

$$N_{M\,min}^{Is} = (2\ldots2{,}66)\cdot N_{KAmax}^{Is}. \qquad (3.9)$$

Множество методов $N_{M\,min}^{Is}$ входит во множество $N_{M\,max}^{Is}$, поскольку число возможных технологических методов формообразования КА-Т-комплекса, представленного одной поверхностью, больше, чем представленного сочетанием нескольких поверхностей. Расчетное значение оценки подобия, соответствующей двум наиболее различающимся по составу технологических методов формообразования вариантам ТМ ППД ($S_{M,\,Mmax}$), равно:

$$S_{M,\,Mmax} = \frac{2\cdot(2...2{,}66)\cdot N_{KA\,max}^{Is}}{(2...2{,}66)\cdot N_{KA\,max}^{Is} + 4\cdot N_{KA\,max}^{Is}} = 0{,}66\ldots0{,}80. \qquad (3.10)$$

Полученный диапазон значений (рис. 3.10) свидетельствует об устойчивости ТМ ППД к вариантному изменению состава КА-Т-комплексов исполнительных поверхностей. Подтверждение (3.8) и значений (3.10) будет получено при исследовании вариантов технологических моделей, формируемых в ходе совмещенной подготовки производства деталей машин.

3.2. Исследование технологических моделей, формируемых при совмещенной разработке конструкции и МТП

Исследование вариантов технологических моделей, соответствующих различным конструкторским представлениям деталей, направлено на решение следующих задач:

1) установление их взаимной непротиворечивости по составу технологических методов формообразования и структуре;

2) установление соответствия вариантов технологических моделей результату – МТП изготовления детали;

3) выявление устойчивости технологических моделей к субъективным действиям конструктора при совмещенной подготовке производства.

4) определение возможности автоматического генерирования вариантов технологических моделей при создании автоматизированной системы совмещенной подготовки производства деталей.

Для установления взаимной непротиворечивости технологических моделей, формируемых при совмещенной подготовке производства деталей, использована следующая методика:

1) выбор детали-представителя класса (группы), для которой известны ее геометрические параметры и положение в сборочной единице;

2) формирование вариантов ППД (не более двух);

3) разработка вариантов ТМ ППД (не более трех для каждого варианта ППД);

4) формирование на основе каждого из вариантов ППД максимум до трех вариантов КМД, включая, как минимум, один – с изменением состава КА-Т-комплексов исполнительных поверхностей, или их геометрических размеров, или их технологических атрибутов.

5) разработка для каждого варианта КМД двух вариантов ТМ КМД;

6) определение оценок содержательного подобия пар вариантов ТМ ППД и ТМ КМД на основе (3.3), сравнение с граничным значением;

7) разработка на основе каждого варианта КМД двух вариантов КАМД, обеспечивающей служебное назначение детали в изделии: одного – без изменений КМД; одного – с изменением состава КА-Т-комплексов, или их геометрических размеров, или их технологических атрибутов.

8) разработка варианта ТМ КАМД на базе каждой из КАМД.

9) определение оценок содержательного и структурного подобия пар вариантов ТМ КМД и ТМ КАМД на основе (3.3), (3.4), сравнение с граничным значением.

Получение оценок подобия выше граничных значений подтвердит возможность разработки конструкций и МТП с совмещением во времени, а также автоматической генерации ТМ ППД и ТМ КМД, требующей в дальнейшем незначительной корректировки.

Для облегчения разработки вариантов ППД, КМД, КАМД и отображения Т-комплексов была выбрана среда “AutoCAD 2004”. Для исследования выбраны детали реальных изделий машиностроения, серийно изготавливаемые НПО “Мосгормаш”, представляющие следующие классы: тела вращения, корпусные (“крышка редуктора”) (рис. 3.11, б) и плоскостные детали (“плита”) (см. прил. 2). Класс тел вращения представляли детали конструктивной группы валы (“вал”) (рис. 2.1, в) и фланцы (“крышка”) (рис. 3.11, а). Детали были подобраны так, чтобы разработка МТП не была тривиальной, а наивысшая точность размеров составляла не выше (грубее) IT6. Для каждой детали-представителя на основе имеющейся документации на сборочную единицу и основных расчетных данных разрабатывались варианты ППД, КМД, КАМД. Основные характеристики конструкций перечисленных выше деталей представлены в табл. 10.

Варианты конструкторских представлений создавались как при идеальной реализации процесса совмещенной разработки, так и с целенаправленным изменением состава КА-Т-комплексов, геометрических размеров или техноло-

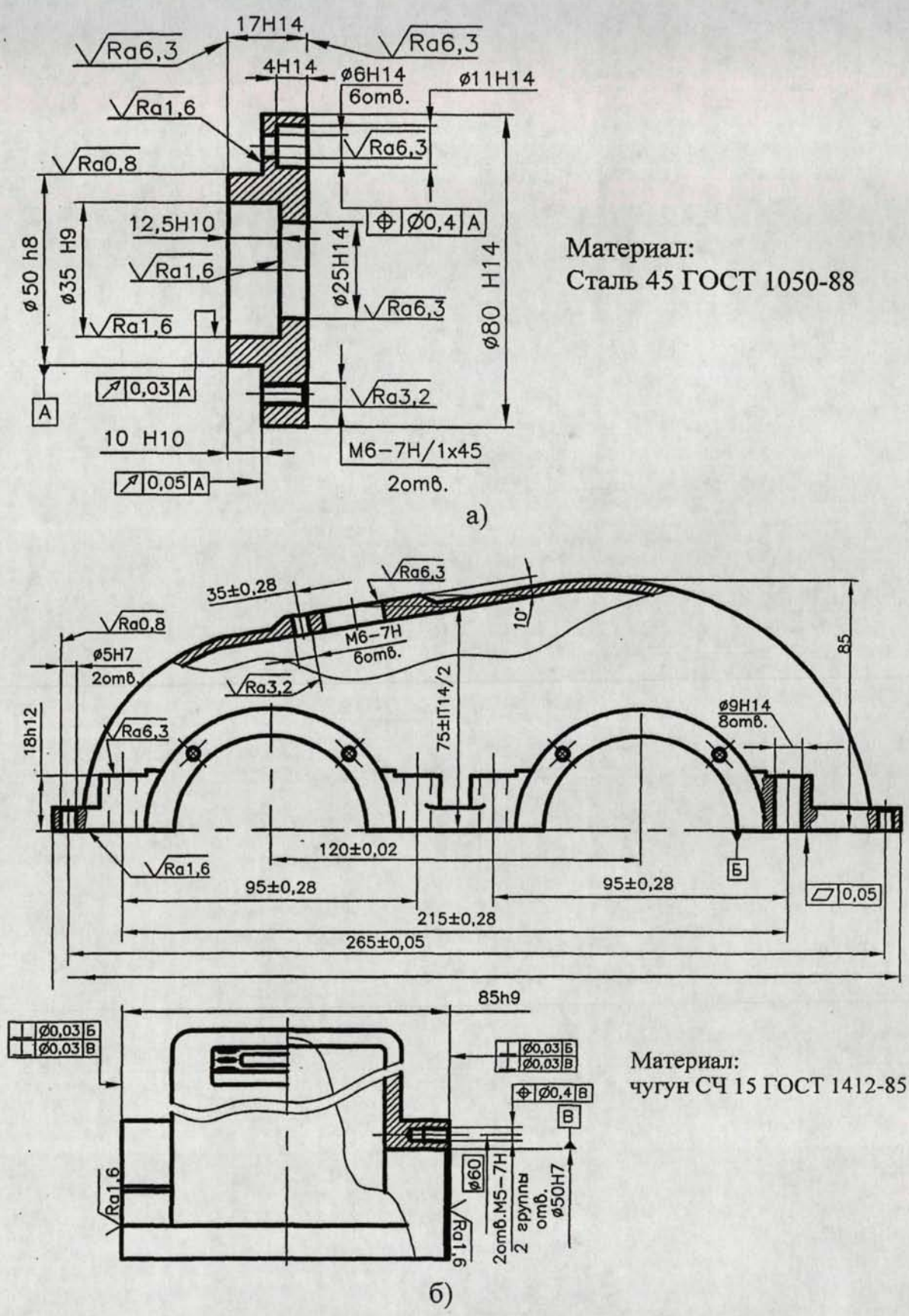


Рис. 3.11 Эскизы деталей-представителей конструктивных классов: а) тела вращения (фланцы); б) корпусные детали

Таблица 10.

Основные характеристики конструкций деталей-представителей

Наименование детали	Конструктивный класс	Материал детали	Наивысшая точность размера IT	Наименьшее значение параметра Ra, мкм	Наличие ХТО в МТП
Крышка редуктора	Корпусные детали	Чугун СЧ20	IT7	0,8	Нет
Плита (см. прил. 5)	Плоскостные детали	Сталь 45	IT7	0,8	Нет
Вал	Тела вращения	Сталь 40Х	IT6	0,8	Есть
Крышка	Тела вращения	Сталь 45	IT8	1,6	Нет

гических атрибутов, с определением оценок подобия по всем парам вариантов ТМ ППД и ТМ КМД.

Используя зависимость (3.3), оценивали содержательное подобие следующих вариантов технологических моделей: 1) варианта ТМ ППД и различных вариантов ТМ КМД; 2) различных вариантов ТМ КМД между собой; 3) варианта ТМ КМД и различных вариантов ТМ КАМД.

Определение оценок содержательного подобия вариантов ТМ КМД и фиксированного варианта ТМ ППД (см. рис. 2.7) на примере детали “вал” приведены на рис. 3.12. На рис. 3.13, а, б соответственно представлены диаграммы, отражающие значения оценок содержательного подобия вариантов ТМ ППД и ТМ КМД для представителей классов тел вращения (см. рис. 3.11, а) и корпусных деталей (см. рис. 3.11, б), в том числе при ужесточении значений ранее назначенных технологических атрибутов (IT, Ra).

Определение оценок содержательного и структурного подобия вариантов ТМ КМД и ТМ КАМД на примере детали “вал” иллюстрирует рис. 3.14. Диаграммы, отражающие значения оценок содержательного подобия вариантов ТМ КМД и ТМ КАМД для деталей “крышка” (см. рис. 3.12, а) и “крышка редуктора” (см. рис. 3.12, б), показаны на рис. 3.15.

Полученные значения для деталей-представителей 4 конструктивных классов (тела вращения, корпусные, плоскостные детали), указанные в табл.11,

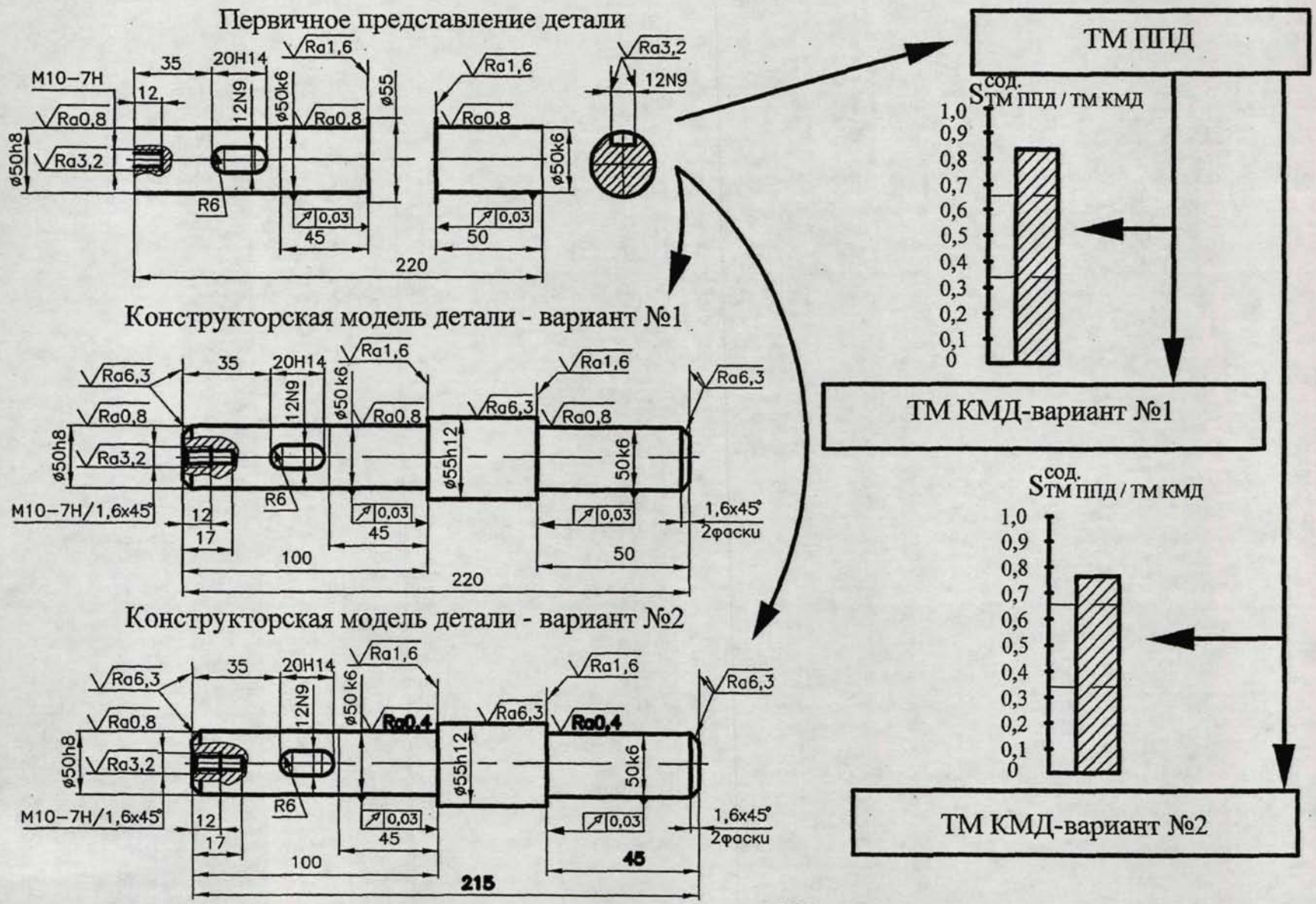
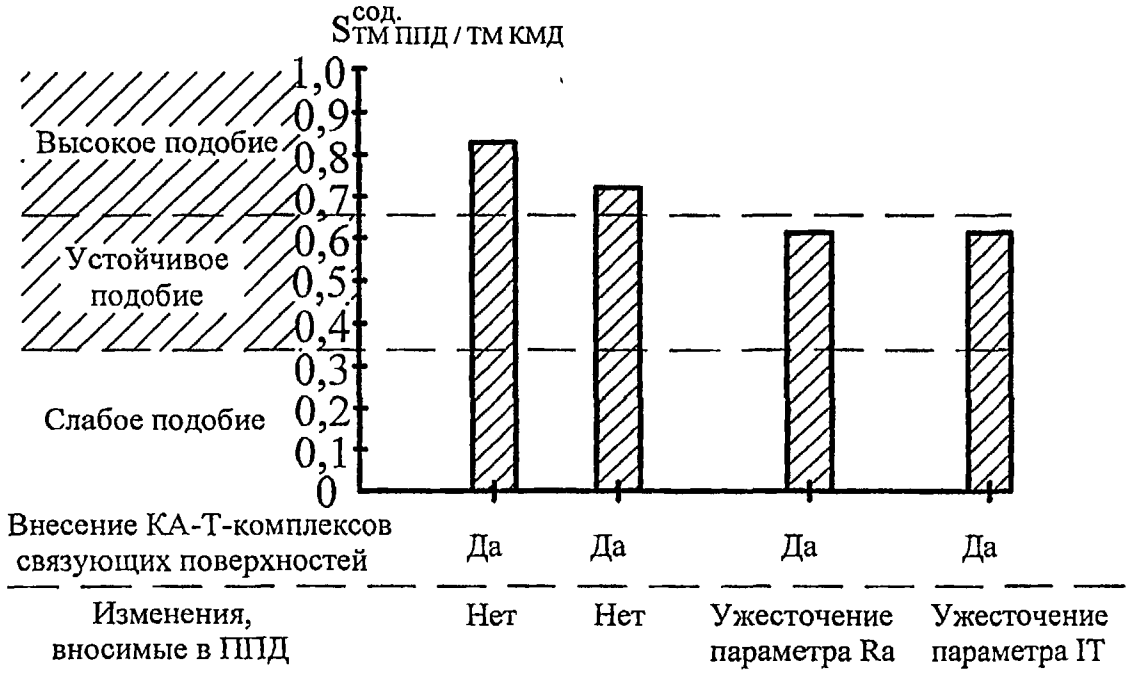
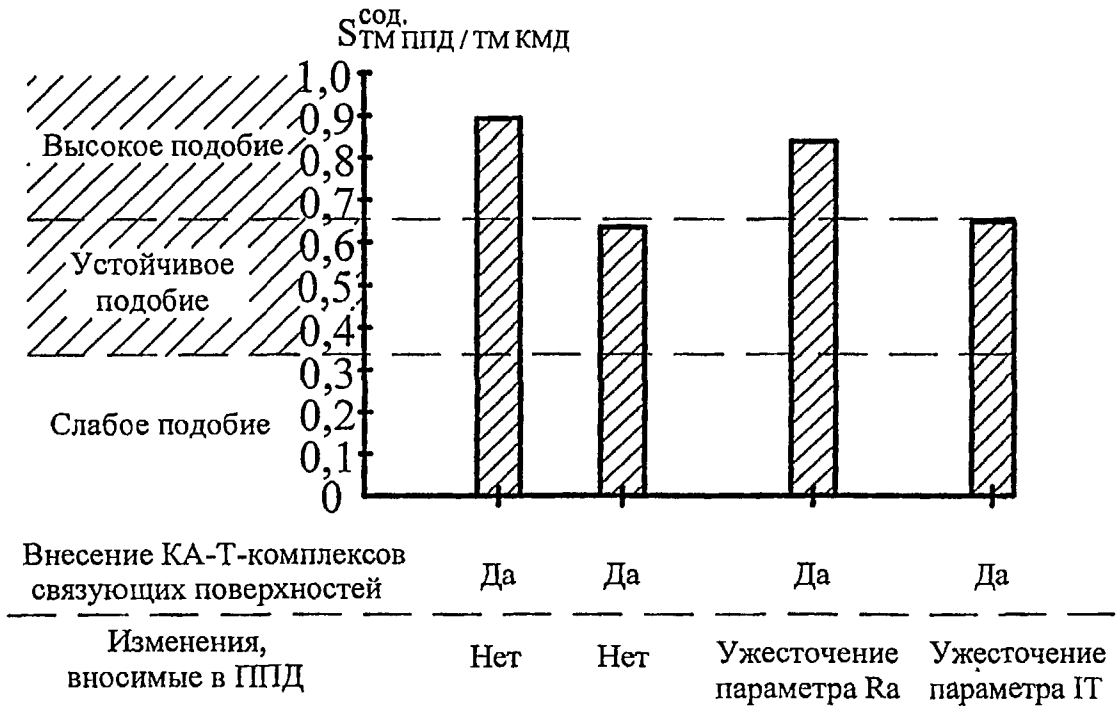


Рис. 3.12 Оценки содержательного подобия ($S^{сод.}_{ТМ\ ППД\ /\ ТМ\ КМД}$) вариантов ТМ ППД и ТМ КМД на примере детали "вал" - представителя класса тел вращения



а)



б)

Рис. 3.13 Оценки степени содержательного подобия ($S^{сод.}_{ТМ\ ППД\ /\ ТМ\ КМД}$) вариантов ТМ ППД и ТМ КМД деталей-представителей классов тел вращения (а) и корпусных деталей (б) (см. рис. 3.11, а, б)

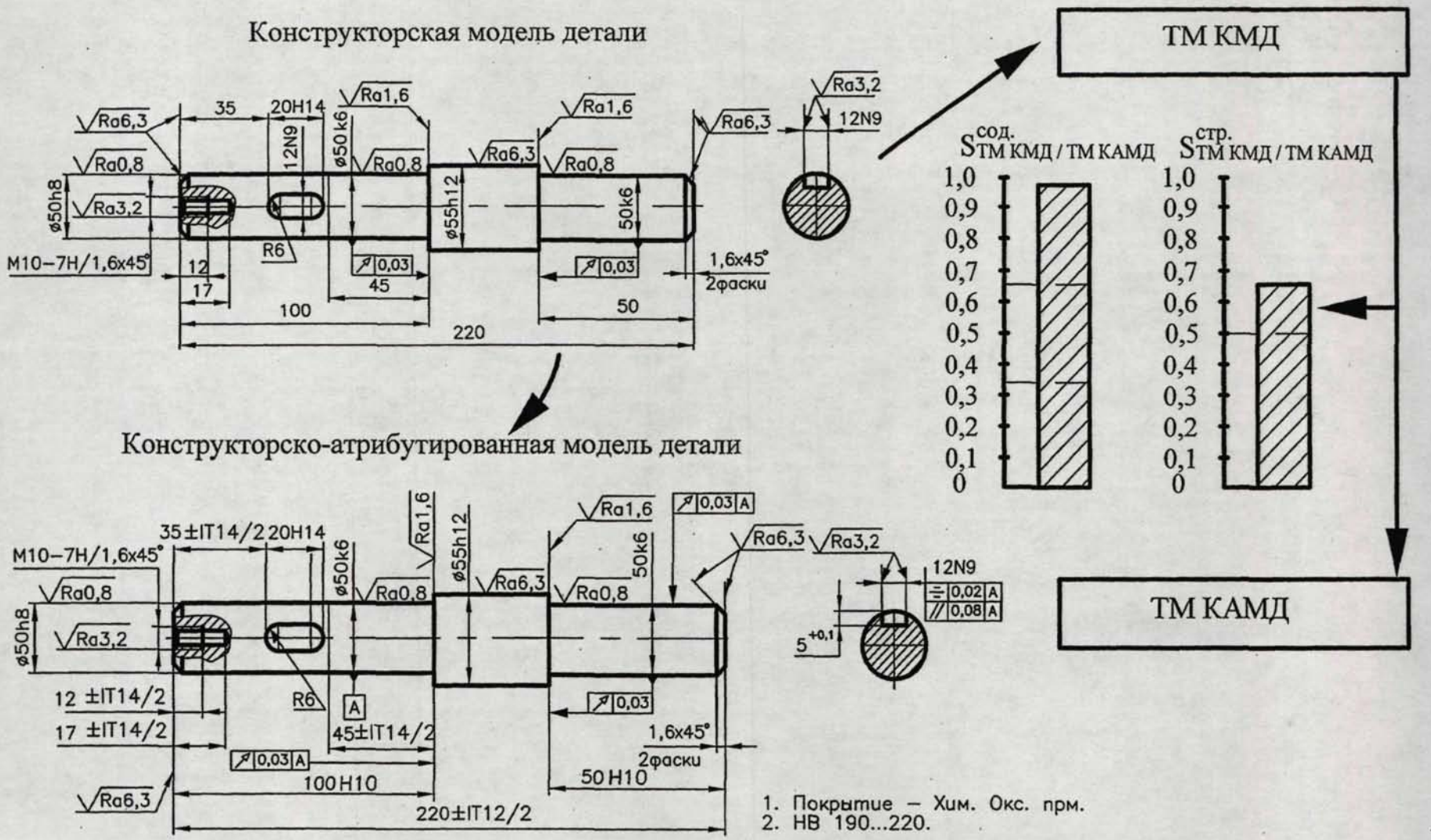


Рис. 3.14 Оценки содержательного ($S^{сод.}_{ТМ\ КМД\ /\ ТМ\ КАМД}$) и структурного ($S^{стр.}_{ТМ\ КМД\ /\ ТМ\ КАМД}$) подобия вариантов ТМ КМД и ТМ КАМД детали "вал" - представителя класса тел вращения

составляют не менее 0,55, что указывает на отсутствие взаимной противоречивости между ТМ ППД и ТМ КМД, а также ТМ КМД и ТМ КАМД по составу технологических методов формообразованию. Различие средних оценок содержательного подобия рассмотренных всех вариантов технологических моделей для деталей “вал” и “крышка редуктора”, полученных при идеальной реализации совмещенной разработки и с изменением ранее сформированных представлений, иллюстрирует рис. 3.16.

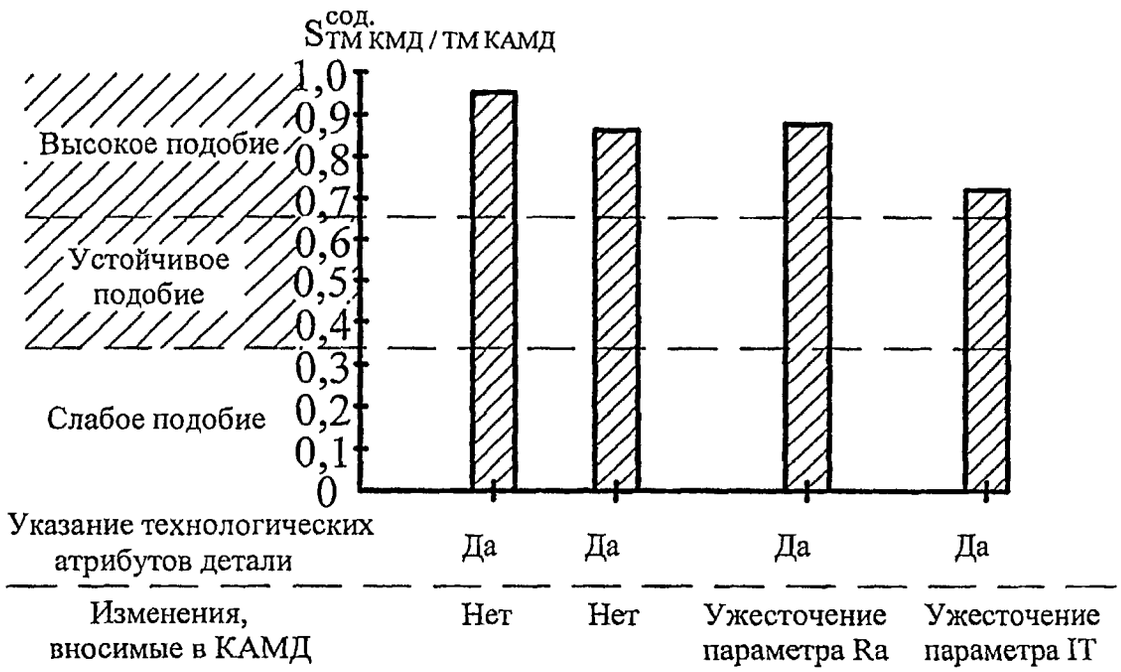
Таблица 11.

Оценки содержательного подобия вариантов технологических моделей

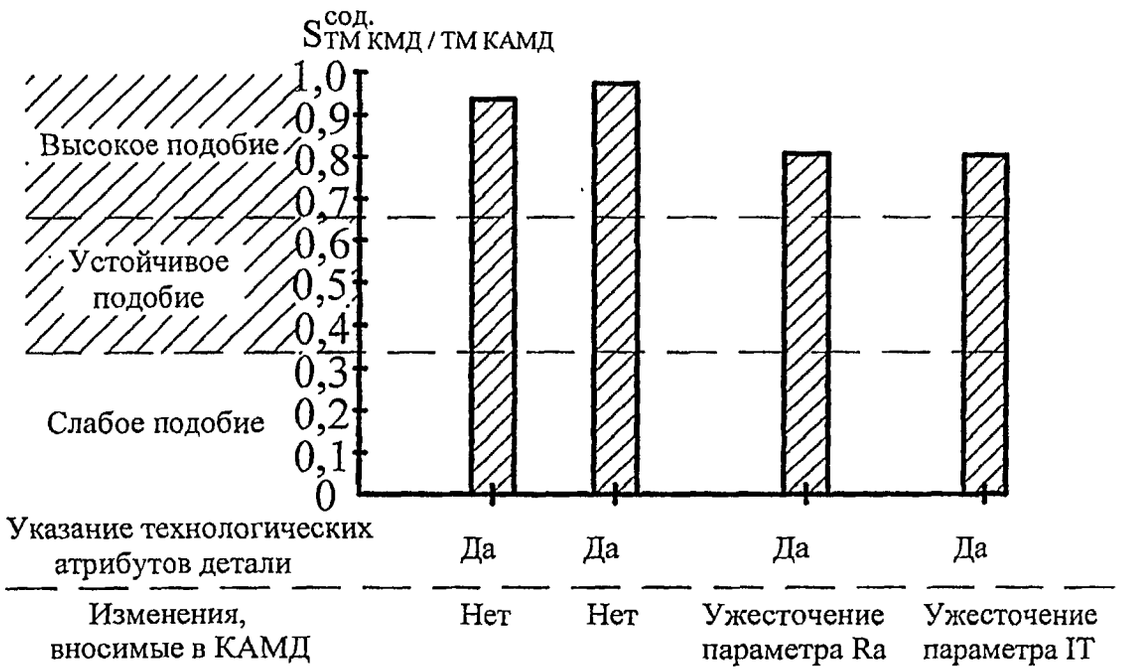
Класс деталей-представителей	Оценка подобия технологических моделей, сформированных на основе		
	варианта ППД и вариантов КМД	различных вариантов КМД	варианта КМД и вариантов КАМД
Корпусные детали	0,68…0,82	0,79…0,94	0,82…0,98
Тела вращения	0,65…0,72	0,9…0,95	0,9…0,97
Плоскостные детали	0,55…0,79	0,60…0,95	0,60…0,98

Аналогично выполняли оценку содержательного подобия ТМ ППД и ТМ КМД для подтверждения зависимости (3.7). Выбирались детали (см. прил. 2) с различными показателями К (3.7), для которых формировались различные варианты ППД, КМД и для каждого из них – до трех вариантов ТМ ППД и ТМ КМД. Последние, в дальнейшем, оценивали по (3.3). Полученные результаты иллюстрирует рис. 3.17.

Для различных вариантов ТМ КМД и ТМ КАМД, используя (3.4), (3.5) определяли оценки структурного подобия. Средние значения оценок для выбранных деталей-представителей представлены на рис. 3.18, в табл. 12 и указывают на то, что между ТМ КМД и ТМ КАМД отсутствует противоречивость как по составу технологических методов формообразованию, так и по структуре. Оценки структурного подобия определялись по (3.4), при этом в технологических операциях ТМ КАМД указывались только технологические переходы, а вспомогательные – не приводились.

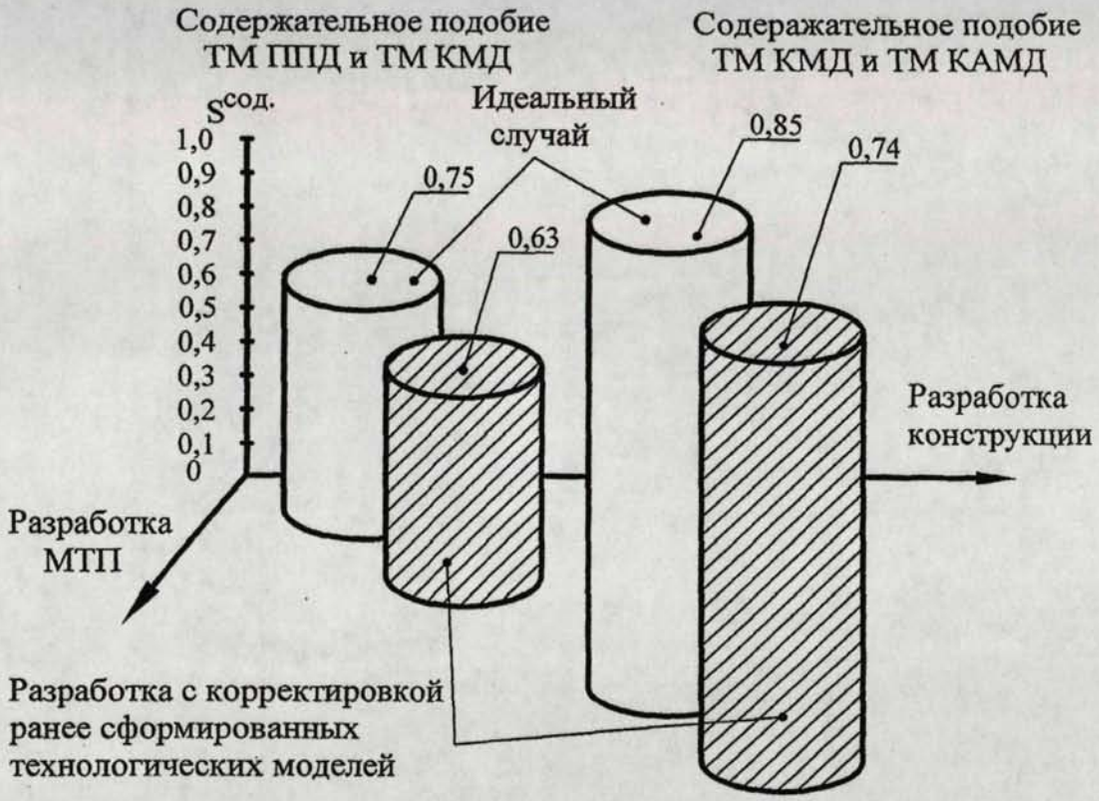


а)

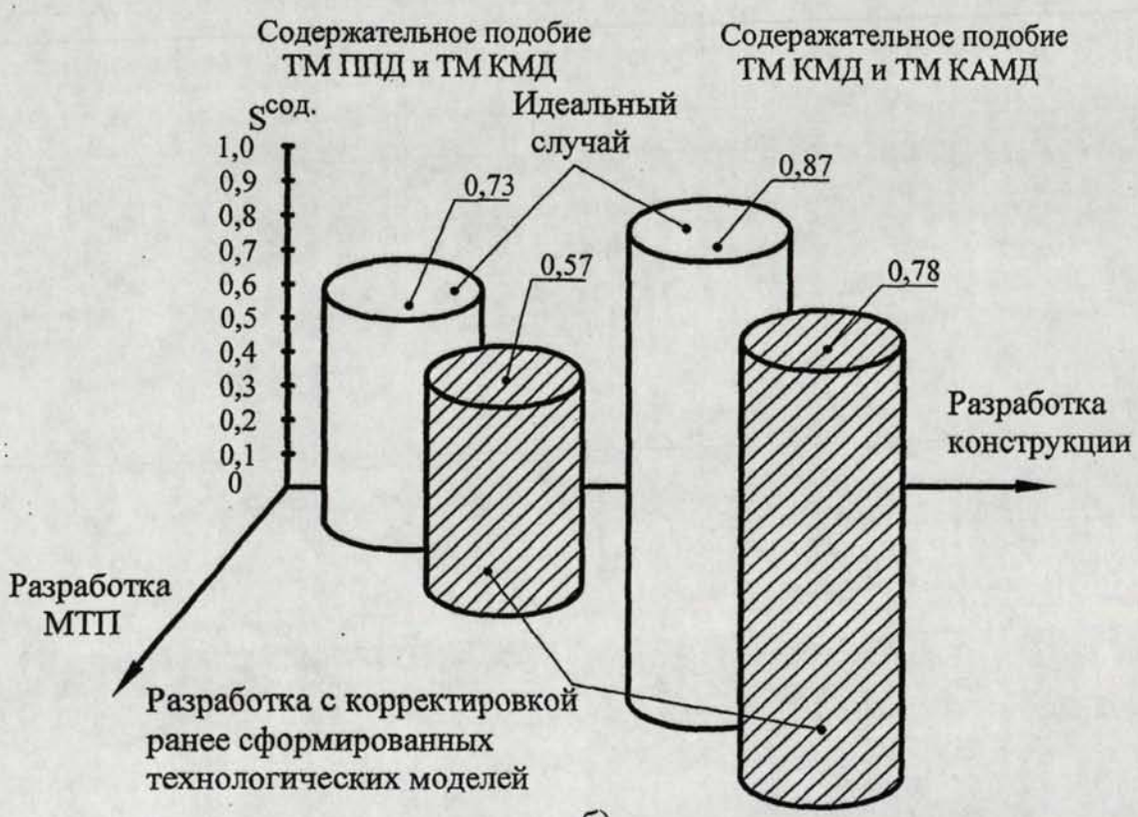


б)

Рис. 3.15 Оценки содержательного подобия ($S^{сод.}_{ТМ\ КМД\ /\ ТМ\ КАМД}$) вариантов ТМ КМД и ТМ КАМД деталей-представителей классов тел вращения (а) и корпусных деталей (б)



а)



б)

Рис. 3.16 Средние значения оценок содержательного подобия вариантов ($S^{сод.}$) технологических моделей для деталей-представителей: а) вал (см. рис. 2.1, в); б) крышка редуктора (см. рис. 3.12, б)

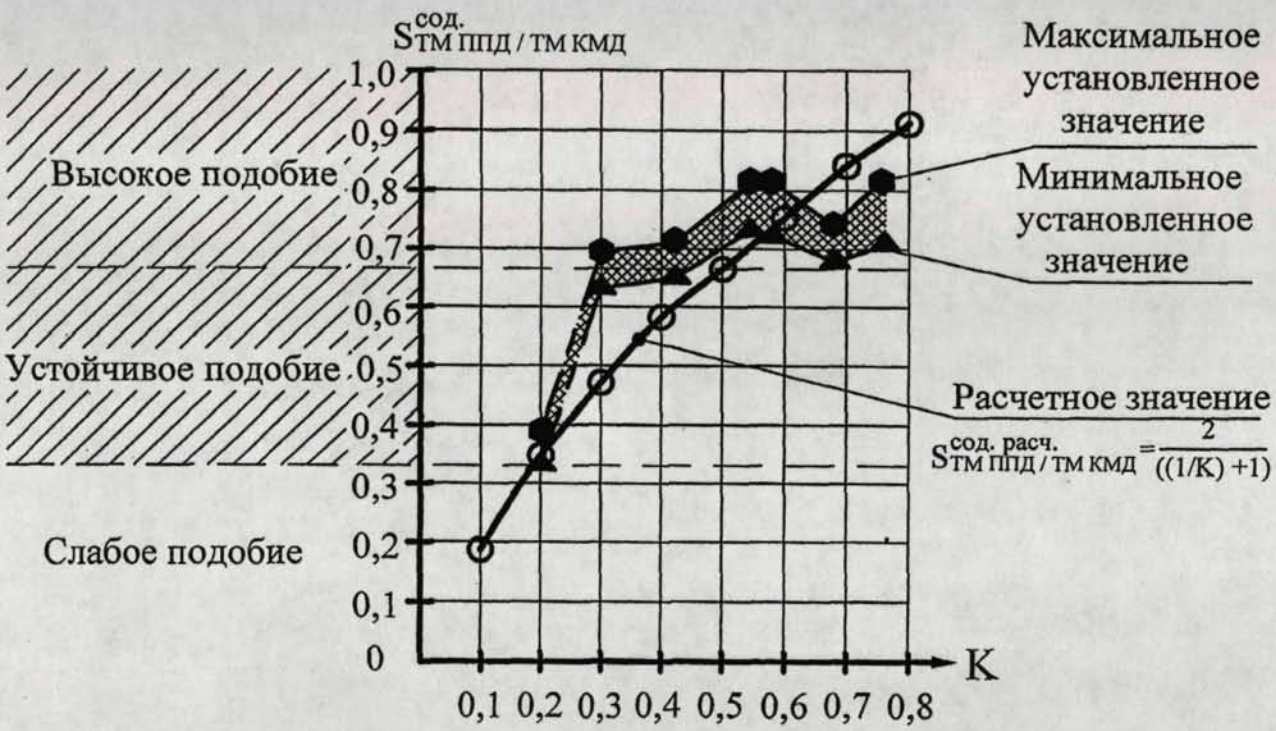


Рис.3.17 Установленные значения содержательного подобия ТМ ППД и ТМ КМД в зависимости от соотношения КА-Т-комплексов исполнительный и связующих поверхностей

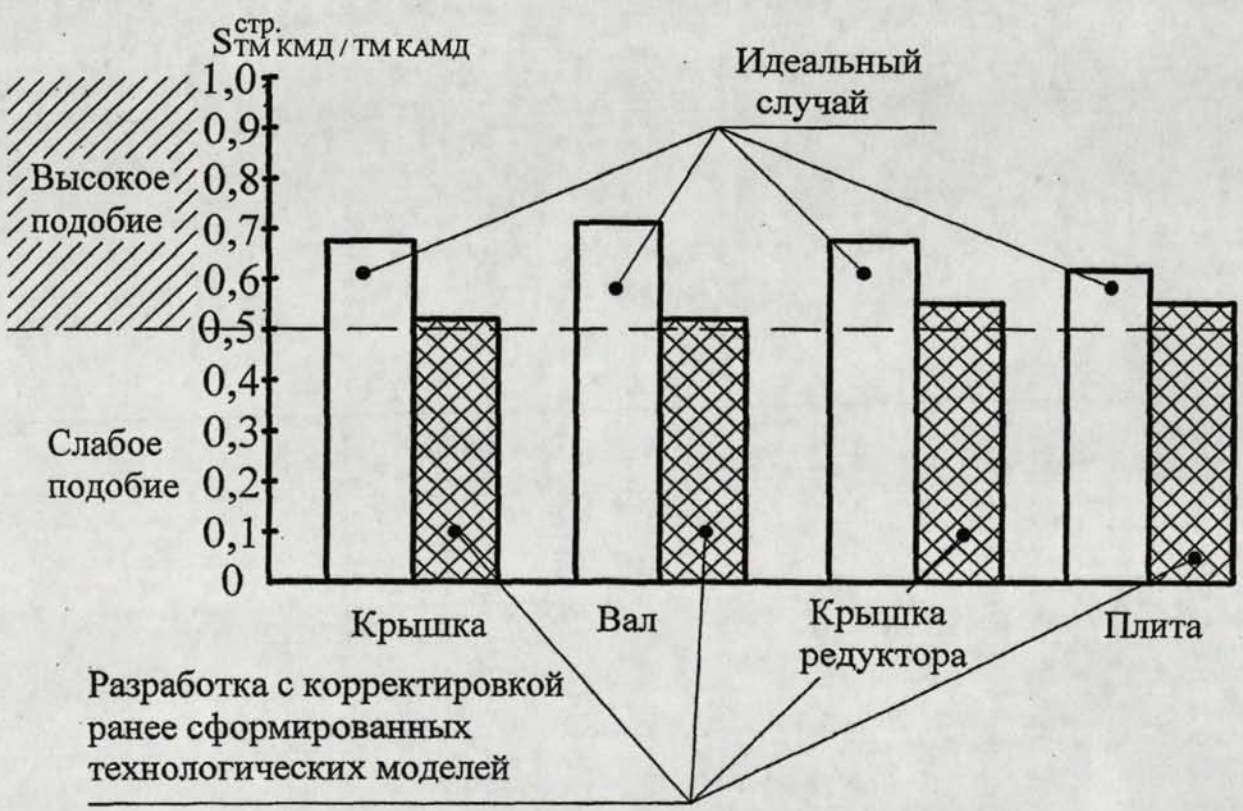


Рис.3.18 Средние значения оценок структурного подобия ТМ КМД и ТМ КАМД ($S^{стр.}_{ТМ КМД / ТМ КАМД}$) для деталей-представителей различных конструктивных классов

Таблица 12.

Оценки структурного подобия ТМ КМД и ТМ КАМД для деталей-представителей различных конструктивных классов

Класс деталей-представителей	Оценка структурного подобия технологических моделей ТМ КМД и ТМ КАМД
Корпусные детали	0,54...0,76
Тела вращения: фланцы валы	 0,60...0,81 0,55...0,80
Плоскостные детали	0,55...0,77

Определяющее значение для значения оценок структурного подобия имеют выбранные ГО и тип оборудования в пределах одной группы. Особое влияние на структуру МТП оказывает применение сверлильно-фрезерно-расточных станков и токарных многоцелевых станков с ЧПУ. Например, применение поворотных столов в операциях обработки на сверлильно-фрезерно-расточных станках с ЧПУ позволяет формировать технологические операции, число переходов в которых достигает 20...25 и более. Это затруднительно учесть при группировании переходов в макеты операций, тем более, выполняемом автоматически.

Результат выбора ГО и типа оборудования при разработке ТМ КМД влияет как на структуру макетов операций, так и на необходимость их корректировки при создании ТМ КАМД. Автоматическое генерирование вариантов ТМ КМД на основе общности ГО и множества допустимых СУ представляется целесообразным, когда общее число группируемых переходов не превышает 15...20. При значительно большем числе (35...40) более целесообразно применение диалогового режима с использованием ключей группирования.

Основное влияние на снижение оценок структурного подобия ТМ КМД и ТМ КАМД оказывают технологические атрибуты детали. Их обеспечение, зачастую, требует использования операций, не связанных с формообразованием. В частности, введение значительного числа операций ХТО или нанесения покрытий, приводит к изменению структур ТМ КАМД и ТМ КМД.

В каждом варианте технологических моделей дополнительно выделялись списки уникальных технологических методов формообразования и оценивались по (3.3). Оценки подобия по спискам уникальных технологических методов составили не менее 0,67 (табл. 13).

Таблица 13.

Оценки содержательного подобия вариантов технологических моделей по спискам уникальных технологических методов формообразования

Класс деталей-представителей	Оценка подобия технологических моделей, сформированных на основе		
	варианта ППД и вариантов КМД	различных вариантов КМД	варианта КМД и вариантов КАМД
Корпусные	0,70…0,97	0,83…0,97	0,65…0,97
Тела вращения	0,67…0,94	0,75…0,94	0,80… 0,94
Плоскостные	0,67…0,88	0,80…0,95	0,8…0,95

Анализ МТП изготовления деталей различных классов показывает [114], что доля операций, в результате выполнения которых происходит формообразование хотя бы одной исполнительной поверхности, составляет 65…90% от общего числа операций формообразования. Это подтверждает тот факт, что длительность разработки МТП зависит от требований, предъявляемых к исполнительным поверхностям.

При исследовании были выбраны четыре детали-представителя классов тел вращения, корпусных и плоскостных деталей (см. прил. 2), конструкции и МТП которых известны: “планка”, “корпус коробки подач”, “фланец”, “вал”. Для них разрабатывали первичные представления, а для каждого из них – 3 варианта ТМ ППД. В МТП выделялись списки уникальных методов формообразования и уникальных технологических методов изготовления (табл. 14) [114].

В ходе исследования определяли две оценки содержательного подобия ТМ ППД и МТП:

1) по спискам уникальных технологических методов формообразования;

2) по спискам уникальных технологических методов формообразования (ТМ ППД) и методов изготовления (МТП).

Таблица 14.

Типовые МТП изготовления деталей машин

Наименование детали	Материал и вид заготовки	Номер и наименование операции	Список уникальных технологических методов формообразования	Список уникальных технологических методов изготовления
Планка (см. прил. 5)	Сталь 45 Прокат (полоса)	005. Абразивно-отрезная 010. Вертикально-фрезерная 015. Горизонтально-фрезерная 020. Зачистка заусенцев 025. Плоскошлифовальная 030. Зачистка заусенцев 035. Сверлильно-фрезерно-расточная с ЧПУ 040. Вертикально-сверлильная 045. Зачистка заусенцев 050. Моечная 055. Контрольная 060. Нанесение покрытия	Фрезерование торцевое черновое Фрезерование торцевое чистовое Шлифование плоское предварительное Шлифование плоское окончательное Сверление Растачивание черновое Растачивание чистовое Развертывание чистовое Зенкерование чистовое	Фрезерование торцевое черновое Фрезерование торцевое чистовое Шлифование плоское предварительное Шлифование плоское окончательное Сверление Растачивание черновое Растачивание чистовое Развертывание чистовое Зенкерование чистовое Мойка Зачистка заусенцев Нанесение покрытия Технический контроль
Корпус коробки подач (см. прил. 5)	Чугун СЧ18 Отливка	005. Литье 010. Дробеструйная 015. Вертикально-фрезерная с ЧПУ 020. Сверлильно-фрезерно-расточная с ЧПУ 025. Слесарная 030. Контрольная 035. Нанесение покрытия	Фрезерование торцевое черновое Фрезерование торцевое чистовое Фрезерование торцевое тонкое Сверление Растачивание черновое Растачивание чистовое Развертывание чистовое Зенкерование чистовое Растачивание тонкое Резьбонарезание	Фрезерование торцевое черновое Фрезерование торцевое чистовое Фрезерование торцевое тонкое Сверление Растачивание черновое Растачивание чистовое Развертывание чистовое Зенкерование чистовое Растачивание тонкое Резьбонарезание Зачистка заусенцев Нанесение покрытия Технический контроль

Продолжение таблицы 14.

Наименование детали	Материал и вид заготовки	Номер и наименование операции	Список уникальных технологических методов формообразования	Список уникальных технологических методов изготовления
Фланец (см. прил.5)	Чугун СЧ20 Отливка	005. Литье 010. Дробеструйная 015. Токарно-винторезная с ЧПУ 020. Токарно-винторезная с ЧПУ 025. Сверлильно-фрезерно-расточная с ЧПУ 030. Слесарная 035. Сверлильно-фрезерно-расточная с ЧПУ 040. Круглошлифовальная 045. Моечная 050. Контрольная 055. Нанесение покрытия	Точение черновое Точение получистовое Точение чистовое Сверление Цекование Фрезерование черновое Фрезерование чистовое Шлифование предварительное	Точение черновое Точение получистовое Точение чистовое Сверление Цекование Фрезерование черновое Фрезерование чистовое Шлифование предварительное Мойка Зачистка заусенцев Нанесение покрытия Технический контроль
Вал (см. прил. 5)	Сталь 45 Прокат	005. Абразивно-отрезная 010. Токарно-винторезная с ЧПУ 015. Токарно-винторезная с ЧПУ 020. Вертикально-фрезерная 025. Зачистка заусенцев 030. Резьбонакатная 035. Круглошлифовальная 040. Круглошлифовальная 045. Моечная 050. Контрольная 055. Нанесение покрытия	Отрезка Точение черновое Точение получистовое Точение чистовое Сверление Фрезерование черновое Фрезерование чистовое Резьбонакатывание Шлифование предварительное Шлифование окончательное	Отрезка Точение черновое Точение получистовое Точение чистовое Сверление Фрезерование черновое Фрезерование чистовое Резьбонакатывание Шлифование предварительное Шлифование окончательное Мойка Зачистка заусенцев Нанесение покрытия Технический контроль

Оценки содержательного подобия трех различных вариантов ТМ ППД и МТП по спискам уникальных методов формообразования для деталей-представителей указаны в табл. 15 и на рис. 3.19. В дальнейшем, оценки были получены для 25 деталей различных наименований и конструктивных классов [114]. Установлено, что инвариантно классу детали значение оценки содержательного подобия методов формообразования, используемых в ТМ ППД и МТП, составляет 0,55...1,0, а оценки подобия методов формообразования ТМ ППД и методов изготовления МТП изменяется в пределах 0,50...0,80 (рис. 3.20). Полученные данные однозначно указывают на то, что ТМ ППД является основой для формирования единичного МТП или поиска процесса-аналога.

Таблица 15.

Оценки содержательного подобия вариантов ТМ ППД и МТП для деталей-представителей различных классов

Деталь-представитель	Вариант ТМ ППД №1	Вариант ТМ ППД №2	Вариант ТМ ППД №3
Планка	0,89	0,55	0,82
Корпус коробки	0,80	0,6	0,84
Фланец	0,75	0,875	0,875
Вал	0,70	0,60	0,70

Чувствительности ТМ ППД к первичному представлению конструкции детали оценивали по следующей методике:

1. Для каждой из деталей-представителей (см. прил. 5) формировался вариант ее первичного представления, и разрабатывалась соответствующая технологическая модель.

2. Изменяли состав КА-Т-комплексов, формировался новый вариант ППД и действия по п. 1 повторялись до исчерпания возможных вариантов.

Определяли оценки подобия вариантов ТМ ППД. Установлено, что инвариантно классу детали значения оценок подобия ТМ ППД (списков методов формообразования), сформированных на основе альтернативных первичных представлений, составляют 0,63...0,94. Это свидетельствует о высокой устойчивости ТМ ППД к изменениям состава КА-Т-комплексов в ППД.

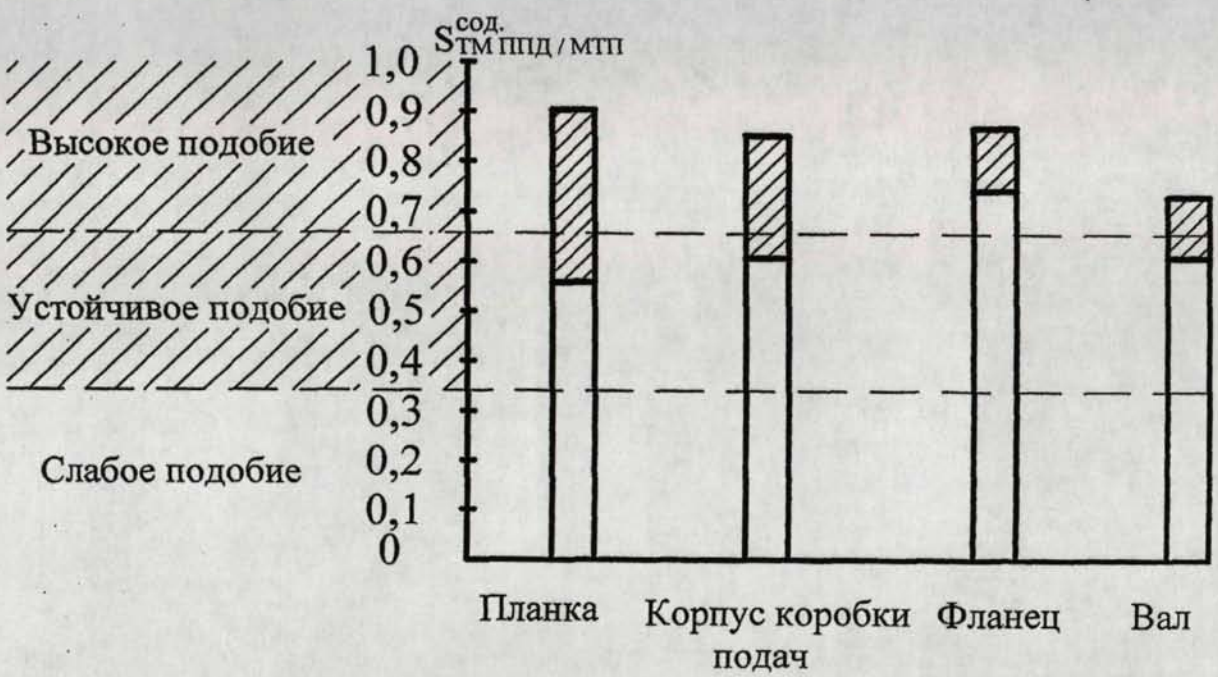


Рис.3.19 Значения оценок содержательного подобия ($S^{сод.}_{ТМ\ ППД/МТП}$) вариантов ТМ ППД и множеств технологических методов формообразования типовых МТП для деталей-представителей различных конструктивных классов

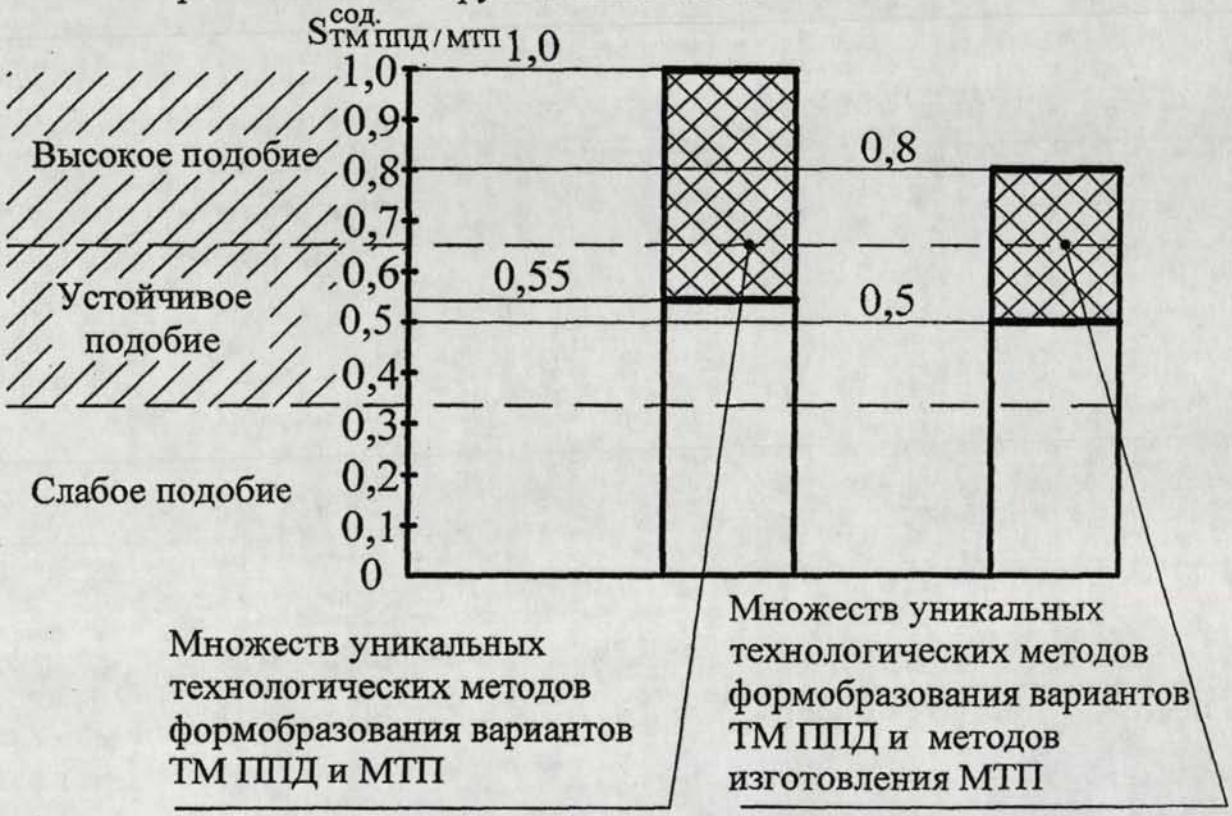


Рис.3.20 Диапазоны значений оценок содержательного подобия ($S^{сод.}_{ТМ\ ППД/МТП}$) вариантов ТМ ППД и множеств технологических методов формообразования и изготовления МТП

3.3. Выводы по главе 3

1. Технологические модели проектных решений, соответствующие любому уровню представления геометрической формы и атрибутов разрабатываемой детали, формально описываются списками применяемых методов формообразования, упорядоченность которых определяется уровнем представления разрабатываемой детали.

2. Вариантность технологических моделей проектных решений вызвана альтернативностью используемых технологических методов формообразования, применяемого оборудования и схем установки, а также вариантными представлениями конструкции разрабатываемой детали даже на фиксированном уровне.

3. Вариантные технологические модели, соответствующие представлениям разрабатываемой детали различных уровней, взаимно непротиворечивы и отвечают основным общетехнологическим принципам и правилам, а также характеризуются высокими (0,70…0,95) оценками технологического подобия.

4. Технологическая модель, соответствующая первичному представлению детали, устойчива к возможным изменениям состава конструкторско-атрибутированных технологических комплексов при формировании вариантов первичных представлений детали. Инвариантно классу детали значения оценок подобия первичных технологических решений, сформированных на основе альтернативных первичных представлений детали, составляют 0,63…0,94.

5. Технологическая модель, соответствующая первичному представлению детали, может рассматриваться как информационная база для формирования единичного маршрутного технологического процесса или поиска процесса-аналога. Технологическая модель, соответствующая конструкторско-атрибутированной модели детали, представляет собой макет маршрутного технологического процесса.

ГЛАВА 4. РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ МАКЕТА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ СОВМЕЩЕННОЙ ПОДГОТОВКИ ПРОИЗВОДСТВА ДЕТАЛЕЙ МАШИН

4.1. Разработка макета автоматизированной системы совмещенной подготовки производства

Совмещенная подготовка производства деталей машин полноценно реализуема лишь при использовании средств автоматизации. Система автоматизированной совмещенной подготовки производства деталей позволяет конструкторам и технологам совместно в автоматизированном режиме выполнять этапы КПП и ТПП и оформлять результаты разработки в соответствии с действующими стандартами.

Методическую основу системы составляет алгоритм совмещенной подготовки производства (рис. 4.1), процедурно реализующий процесс, описанный в гл. 2. Для разработки конструкций деталей принят диалоговый режим работы системы, для формирования технологических моделей и МТП – диалоговый и пакетный, например, при генерировании ЭМОК или, в отдельных случаях, при группировании переходов. Предусмотрена визуализация представлений конструкций деталей (ППД, КМД, КАМД) в виде двумерных изображений, как наиболее распространенного способа отображения конструкций. Формирование конструкторских представлений и технологических моделей выполняется соответствующими модулями – блоками системы (см. рис. 4.1).

Для реализации блока конструкторского проектирования использована программная среда “T-Flex CAD 10 (учебная версия)” фирмы “Топ-системы”. В указанной среде создана библиотека параметрических двумерных изображений Т-комплексов (рис. 4.2, а, б), позволяющая для отображения Т-комплекса численно задать его размеры и вносить его в рабочее пространство среды. Воз-

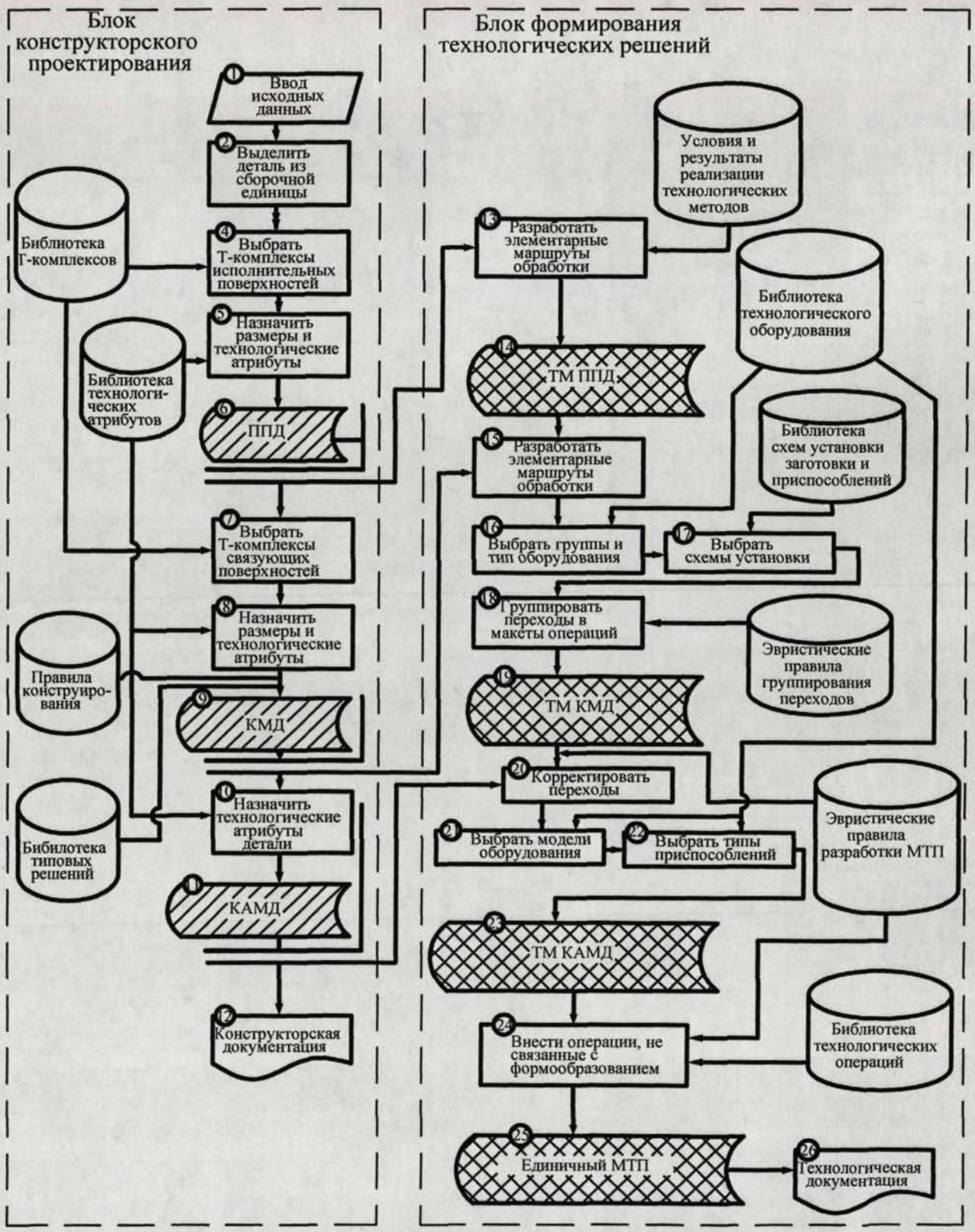
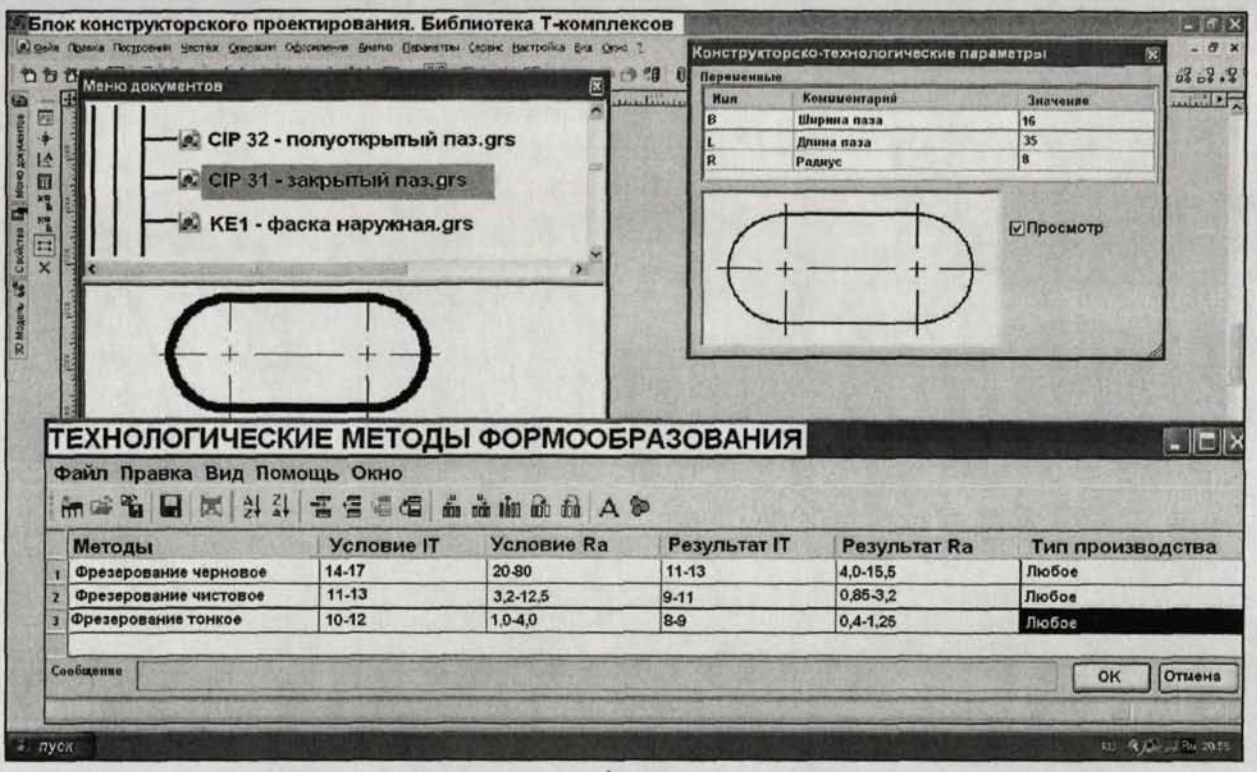
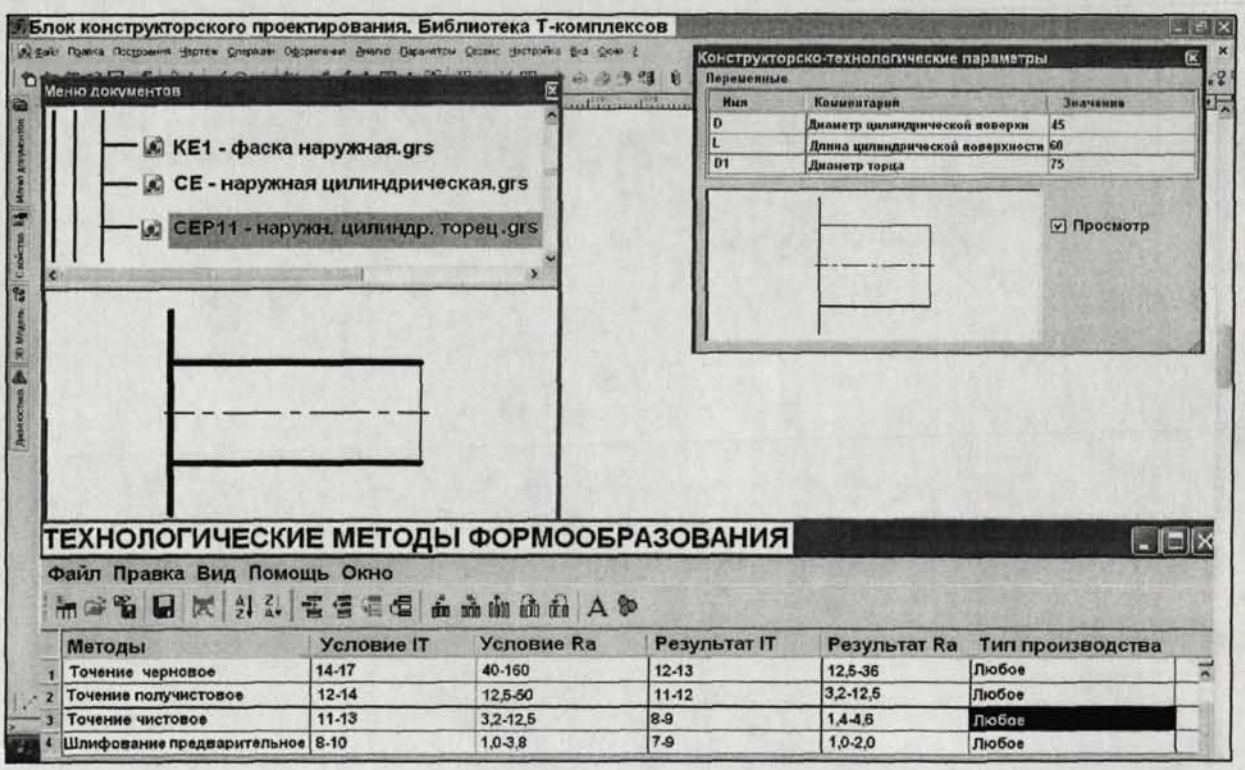


Рис. 4.1 Алгоритм совмещенной подготовки производства деталей машин



а)



б)

Рис. 4.2 Фрагмент созданной в среде T-Flex 10 CAD параметрической библиотеки Т-комплексов. Т-комплексы с идентификаторами: а) CIP 31; б) CEP 11

можности среды позволяют каждому Т-комплексу, выбранному из библиотеки, ставить в соответствие множество технологических методов формообразования с указанием условий и результатов их реализации.

При формировании ППД конструктор выбирает Т-комплексы исполнительных поверхностей из библиотеки, вносит их в рабочее пространство среды, задавая соответствующие значения геометрическим размерам, указывая технологические атрибуты (формируя КА-Т-комплексы) и определяя их взаимное расположение. Первичное представление детали, например, “корпуса” (рис. 4.3), сохраняется в виде отдельного файла, в дальнейшем используемого в блоке формирования ТР для разработки ТМ ППД. Одновременно с этим конструктор формирует КМД (в отдельных случаях, на ранних стадиях создания машины – другие варианты ППД).

Связь блока конструкторского проектирования с блоком формирования ТР осуществляется с использованием сетевого подключения персональных компьютеров, позволяя конструктору и технологу, занимающимся совмещенной разработкой, выполнять обмен информацией. Интерфейс блока формирования ТР позволяет разработку технологических моделей и автоматическую передачу информации от одной модели к другой, обеспечивая поддержку создания МТП. Для создания интерфейса использована программная среда разработки баз данных “Microsoft Access 2003”.

На основе ППД разрабатывают варианты ТМ ППД в диалоговом режиме, используя окно диалога, представленное на рис. 4.4. Для каждого КА-Т-комплекса исполнительных поверхностей выбирают ЭМОК, а технологические методы формообразования всех КА-Т-комплекса исполнительных поверхностей автоматически упорядочивают по этапам МТП. Для автоматического формирования ТМ ППД может быть математически и программно реализован алгоритм генерирования ЭМОК. Каждый из возможных вариантов ТМ ППД сохраняют в виде файла соответствующего формата.

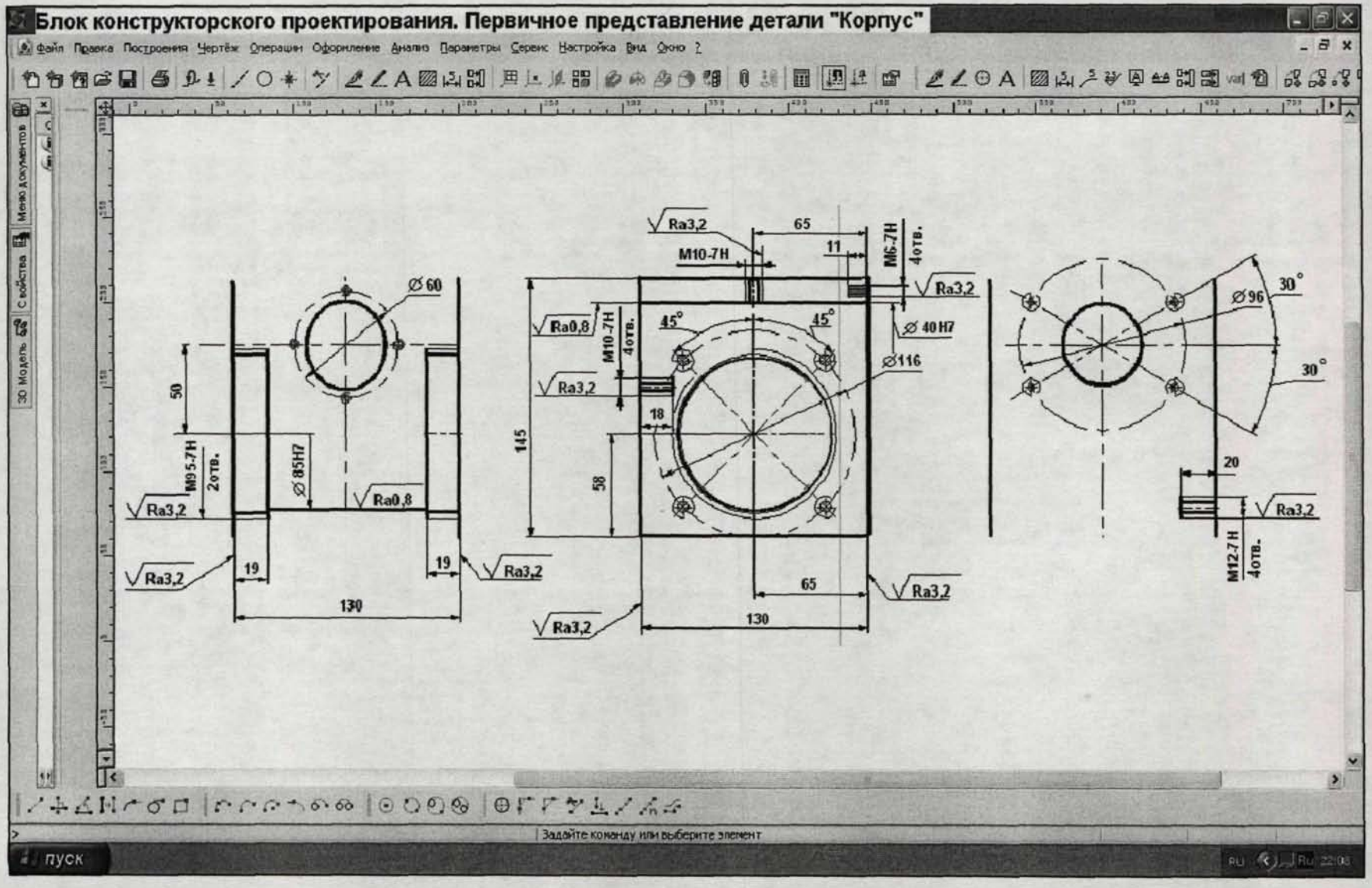


Рис. 4.3 Окно диалога и результат разработки ППД на примере детали "корпус"

Блок формирования технологических решений. ТМ ППД "Корпус"

Файл Правка Вид Помощь Окно

Номер этапа	КА-Т-комплекс исп. пов.	Технологический метод	IT	Ra
2	P11-1	Фрезерование черновое	12	8
	P11-2	Фрезерование черновое	12	8
	RI-1	Сверление	14	10
	RI-1	Растачивание черновое	13	5
	RI-1	Резьбонарезание	12	3,2
	RI-2	Сверление	14	10
	RI-2	Растачивание черновое	13	5
	RI-2	Резьбонарезание	12	3,2
	RI-3	Сверление	12	5
	RI-3	Резьбонарезание	11	3,2
	RI-4	Сверление	12	5
	RI-4	Резьбонарезание	11	3,2
	RI-5	Сверление	12	5
	RI-5	Резьбонарезание	11	3,2
	RI-6	Сверление	12	5
	RI-6	Резьбонарезание	11	3,2
	CI-1	Сверление	12	10
	CI-2	Сверление	12	10
3	P11-1	Фрезерование чистовое	10	3,2
	P11-2	Фрезерование чистовое	10	3,2
	CI-1	Рассверливание	11	8
	CI-1	Растачивание черновое	10	5
	CI-2	Рассверливание	11	8
	CI-2	Зенкерование	10	5
4	CI-1	Растачивание получистовое	9	3,2
	CI-1	Растачивание чистовое	8	1,6
	CI-1	Растачивание тонкое	7	0,8
	CI-2	Растачивание получистовое	9	3,2
	CI-2	Растачивание чистовое	8	1,6
	CI-2	Растачивание тонкое	7	0,8

пуск

Рис. 4.4 Окно диалога и результат разработки ТМ ППД на примере детали "корпус"

Одновременно с разработкой ТМ ППД формируют КМД присоединением к ППД Т-комплексов связующих поверхностей и задания их технологических атрибутов (определение КА-Т-комплексов связующих поверхностей). Результат разработки КМД, который, например, для детали “корпус ” представлен на рис. 4.5 сохраняется в блоке конструкторского проектирования и передается в блок формирования ТР, на основе которого формируется ТМ КМД.

Информация, содержащаяся в полях записи ТМ ППД, передается в соответствующие поля записи ТМ КМД копированием (в рабочей версии системы – автоматически). Окно диалога при разработке ТМ КМД позволяет для каждого технологического метода формообразования осуществлять выбор группы и типа оборудования и указывать различные варианты схем установки (рис. 4.6). При группировании переходов в макеты удобно использовать фильтры (терминология среды “Microsoft Access”), позволяющие отображать записи, обладающие общностью группы, типа оборудования или варианта СУ. Просмотр вариантов макетов в диалоговом режиме заканчивается присвоением каждому макету соответствующего порядкового номера. Интерфейс разработки ТМ КМД в рабочей версии системы должен удобно осуществлять в диалоговом режиме группирование переходов, даже если их число, объединяемое в макет, составляет 20...25. В противном случае, режим диалога малоэффективен и увеличит трудоемкость разработки. Каждый из возможных вариантов ТМ КМД сохраняется в виде отдельного файла и в дальнейшем используется при формировании ТМ КАМД.

Совместно с разработкой ТМ КМД конструктор формирует КАМД, указывая технологические атрибуты всей проектируемой детали, включая технические требования на ее изготовление, а также при необходимости выполняя расчеты на прочность, жесткость и др., оформляя КД в соответствии с действующими стандартами (рис. 4.7). Результат разработки КАМД сохраняют в отдельном файле и передают в блок формирования ТР.

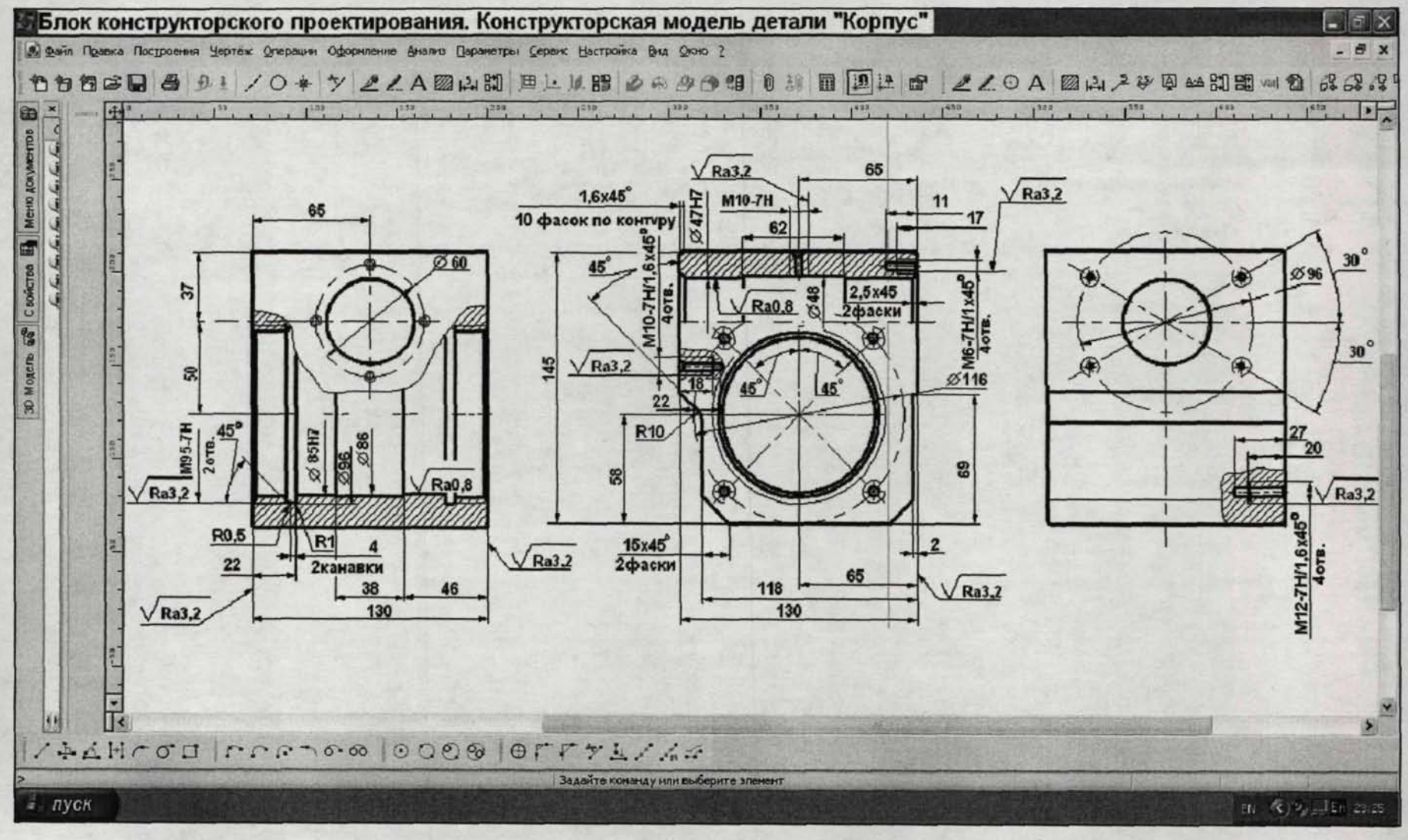


Рис. 4.5 Окно диалога и результат формирования КМД на примере детали "корпус"

Блок формирования технологических решений. ТМ КМД"Корпус"

Файл Правка Вид Помощь Окно

Макет операции	КА-Т-комплекс	Технологический метод	IT	Ra	Группа оборудования	Схема установки
1	P11-1	Фрезерование черновое	12	8	Фрезерная	По 2-м плоскостям, закрепление по плоскости
	P11-2	Фрезерование черновое	12	8		
2	P11-3	Фрезерование черновое	12	8	Фрезерная	По 2-м плоскостям, закрепление по плоскости
	P11-4	Фрезерование черновое	14	6,3		
	P11-5	Фрезерование черновое	14	6,3		По 3-м плоскостям, закрепление по плоскости
	P11-6	Фрезерование черновое	14	6,3		
	P11-7	Фрезерование черновое	12	8		
3	P11-8	Фрезерование черновое	14	6,3	Фрезерная	По 2-м плоскостям, закрепление по плоскости
	P11-9	Фрезерование черновое	14	6,3		
4	CI-1	Сверление	11	3,2	Сверлильно-фрезерно-расточная	По 3-м плоскостям, закрепление по плоскости
	CI-1	Рассверливание	12	5		
	CI-1	Растачивание черновое	11	3,2		
	CI-2	Сверление	12	5		
	CI-2	Рассверливание	11	3,2		
	CI-2	Зенкерование	12	5		
5	P11-1	Фрезерование чистовое	10	3,2	Сверлильно-фрезерно-расточная	По 3-м плоскостям, закрепление по плоскости
	RI-1	Сверление	14	10		
	RI-1	Растачивание черновое	13	5		
	RI-1	Резьбонарезание		3,2		
	CI-2	Растачивание получистовое	9	3,2		
	CI1-1	Растачивание черновое	14	6,3		
	KI1-1	Зенкование	14	6,3		
	CIP21	Растачивание черновое	14	6,3		
6	RI-2	Сверление	14	10	Сверлильно-фрезерно-расточная	По 3-м плоскостям, закрепление по плоскости
	RI-2	Растачивание черновое	13	5		
	RI-2	Резьбонарезание		3,2		
	CI1-2	Растачивание черновое	14	6,3		
	KI1-2	Зенкование	14	6,3		
	P11-7	Фрезерование чистовое	10	3,2		

пуск

Рис. 4.6 Окно диалога и результат разработки ТМ КМД на примере детали "корпус" (фрагмент)

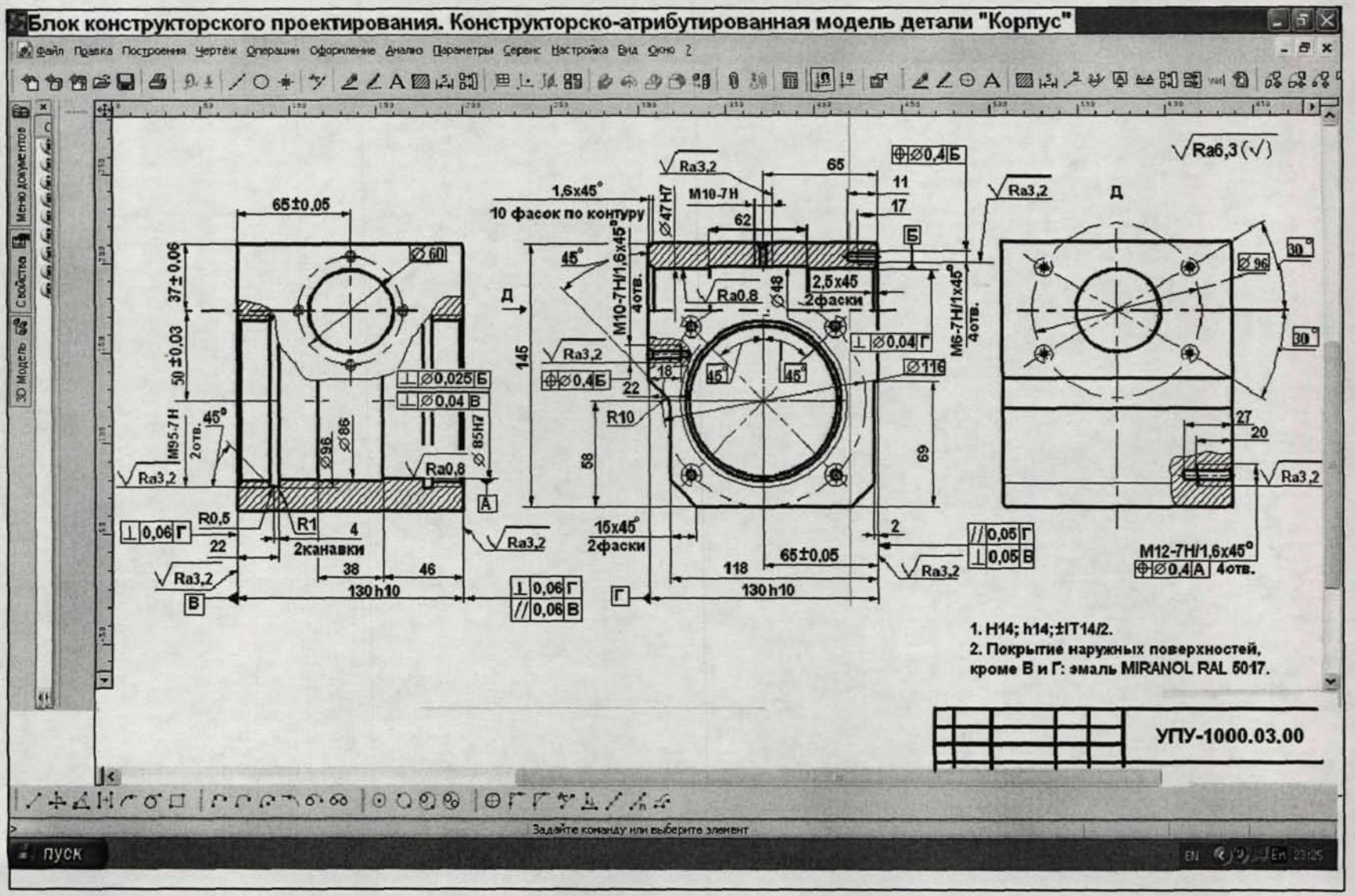


Рис. 4.7 Окно диалога и результат разработки КАМД на примере детали "корпус"

Информацию, содержащуюся в полях записи ТМ КМД, передают в соответствующие поля записи ТМ КАМД автоматически. Пользователь при разработке ТМ КАМД формирует последовательность технологических операций. В окне диалога отображаются компоненты описания операций в соответствии со стандартами на оформление технологической документации (код и наименование оборудования, масса заготовки, коэффициент использования материала и др.). Окно диалога при формировании ТМ КАМД “корпус” представлено на рис. 4.8.

Результат разработки ТМ КАМД сохраняют в отдельном файле. Маршрутный технологический процесс формируется на основе ТМ КАМД путем внесения в ее структуру технологических операций, базирующихся на технологических методах, не связанных с формообразованием (технический контроль, нанесение покрытий и др.). В отдельных случаях, это требует корректировки содержания технологических операций формообразования. Маршрутный технологический процесс сохраняет пользователь в отдельном файле (рис. 4.9).

Реализация блока конструкторского проектирования для рабочих версий систем возможна как в среде двумерного, так и в среде трехмерного моделирования. Выполнение совмещенной подготовки производства деталей возможно в обоих случаях, хотя на сегодняшний день трехмерное моделирование более предпочтительно. Программная реализация блока формирования ТР в рабочих версиях системы сначала должна реализовывать диалоговый режим, а в дальнейшем – пакетный, прежде всего, при разработке ТМ ППД и ТМ КМД. В этом случае, будет достигнута наибольшая эффективность совмещенной разработки, поскольку построение ТМ ППД и ТМ КМД будет выполняться одновременно с созданием КМД и КАМД соответственно. Автоматический режим позволит устранить возможное “запаздывание” по времени построения указанных технологических моделей.

Блок формирования технологических решений. ТМ КАМД "Корпус"

Файл Правка Вид Помощь Окно

Наименование детали	Номер детали	Наименование и марка материала	Код материала	Код единицы величины	Масса детали	Единица нормирования	Норма расход
Корпус	УПУ-1000.03.00.06	Сталь 45 ГОСТ1050-88		1	17,3	кг	34,3

Номер операции	Наименование операции	Модель оборудования	Схема установки	Тип приспособления
1	Вертикально-фрезерная с ЧПУ	6Р13Ф3	В тисках с призматическими губками	Тиски с призматическими губками
2	Вертикально-фрезерная с ЧПУ	6Р13Ф3	По 2-м плоскостям, закрепление по плоскости	Универсально-сборное приспособление
3	Вертикально-фрезерная с ЧПУ	6Р13Ф3	По 2-м плоскостям, закрепление по плоскости	Универсально-сборное приспособление
4	Вертикально-фрезерная с ЧПУ	6Р13Ф3	По 2-м плоскостям, закрепление по плоскости	Универсально-сборное приспособление
5	Сверлильно-фрезерно-расточная с ЧПУ	ГФ2171С6	По 3-м плоскостям, закрепление по плоскости	Универсально-сборное приспособление
6	Сверлильно-фрезерно-расточная с ЧПУ	ГФ2171С6	По 3-м плоскостям, закрепление по плоскости	Универсально-сборное приспособление
7	Сверлильно-фрезерно-расточная с ЧПУ	ГФ2171С6	По 3-м плоскостям, закрепление по плоскости	Универсально-сборное приспособление
8	Сверлильно-фрезерно-расточная с ЧПУ	ГФ2171С6	По 3-м плоскостям, закрепление по плоскости	Универсально-сборное приспособление

Содержание технологической операции

Номер перехода	КА-Т-комплекс	Технологический метод	IT	Ra	Текст перехода
1	P11-1	Фрезерование чистовое	10	3,2	Фрезеровать, выдерживая
2	RI-1	Растачивание черновое	13	5	Расточить ф78 до ф92,9Н14
3	CI1-1	Растачивание черновое	14	6,3	Расточить канавку, выдержи
4	KI1-1	Зенкование	14	6,3	Зенковать фаску 1,6х45
5	RI-1	Резьбонарезание		3,2	Нарезать резьбу М95-7Н
6	CI-1	Растачивание получистовое	9	3,2	Расточить ф78Н11 до ф80Н9

пуск

Рис. 4.8 Окно диалога и результат формирования ТМ КАМД на примере детали "корпус"

Блок формирования технологических решений. МТП "Корпус"

Файл Правка Вид Помощь Окно

Наименование детали	Номер детали	Наименование и марка материала	Код материала	Код единицы величины	Масса детали	Единица нормирования	Норма расход
Корпус	УПУ-1000.03.00.06	Сталь 45 ГОСТ1050-88		1	17,3	кг	34,3

Номер операции	Наименование операции	Модель оборудования	Схема установки	Тип приспособления
005	Ленточно- отрезная	8Б72	В тисках с призматическими губками	Тиски с призматическими губками
010	Вертикально-фрезерная с ЧПУ	6Р13Ф3	В тисках с призматическими губками	Тиски с призматическими губками
015	Вертикально-фрезерная с ЧПУ	6Р13Ф3	По 2-м плоскостям, закрепление по плоскости	Универсально-сборное приспособление
020	Вертикально-фрезерная с ЧПУ	6Р13Ф3	По 2-м плоскостям, закрепление по плоскости	Универсально-сборное приспособление
025	Вертикально-фрезерная с ЧПУ	6Р13Ф3	По 2-м плоскостям, закрепление по плоскости	Универсально-сборное приспособление
030	Сверлильно-фрезерно-расточная с ЧПУ	ГФ2171С6	По 3-м плоскостям, закрепление по плоскости	Универсально-сборное приспособление
035	Сверлильно-фрезерно-расточная с ЧПУ	ГФ2171С6	По 3-м плоскостям, закрепление по плоскости	Универсально-сборное приспособление
040	Контрольная	Контрольно-изм. машина		
045	Сверлильно-фрезерно-расточная с ЧПУ	ГФ2171С6	По 3-м плоскостям, закрепление по плоскости	Универсально-сборное приспособление
050	Сверлильно-фрезерно-расточная с ЧПУ	ГФ2171С6	По 3-м плоскостям, закрепление по плоскости	Универсально-сборное приспособление
055	Контрольная	Контрольно-изм. машина		
060	Покрытие	Спец. установка		

пуск

Рис. 4.9 Окно диалога и результат разработки МТП изготовления детали "корпус"

4.2. Исследование макета системы совмещенной подготовки производства деталей машин

При исследовании макета системы сравнивали длительности последовательной и совмещенной разработки конструкций и МТП тестовых деталей. Для исследования выбрано 14 деталей трех классов (тела вращения, корпусные и плоскостные детали), изготавливаемых серийно на НПО “Мосгормаш”, технические требования на изготовление большинства из которых не предполагают использование ХТО (прил. 3). Технологическое оборудование, в том числе станки с ЧПУ, применяемые на НПО “Мосгормаш”, позволяют изготовление деталей машин различной сложности.

Исследование макета системы совмещенной подготовки производства предполагало следующие этапы:

1) выбор и упорядочивание тестовых деталей машин различных классов;

2) выбор современных систем КПП и ТПП для последовательной разработки деталей;

3) создание рабочей группы (конструктор, технолог);

4) последовательная разработка конструкций деталей и МТП их изготовления в выбранных системах КПП и ТПП (п.2) с фиксацией (измерением) ее длительности в часах;

5) совмещенная разработка конструкций деталей и МТП их изготовления с применением макета системы подготовки производства с фиксацией (измерением) ее длительности в часах;

6) математический анализ, сравнение и обобщение полученных результатов.

Для определения границ эффективного (по показателю длительности) применения совмещенной подготовки производства допустимы два способа упорядочения деталей машин в зависимости от сложности их разработки:

1) по существующим эталонам сложности для деталей, проходящих механическую обработку [115];

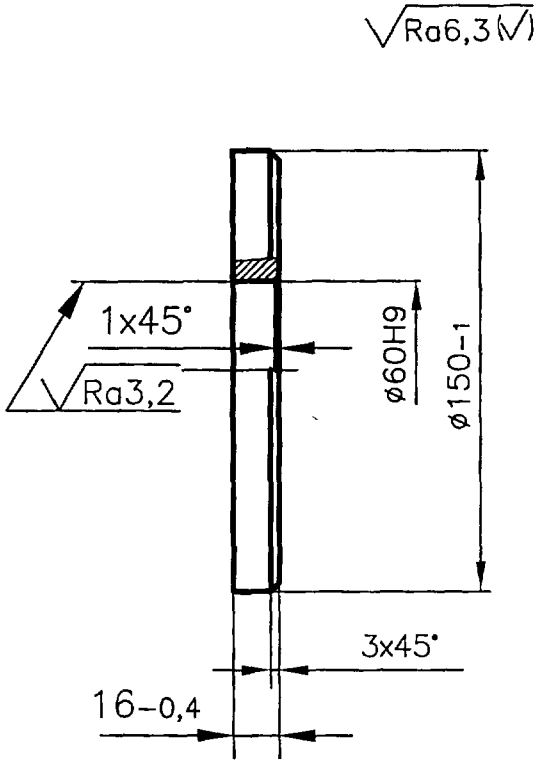
2) на основе оценки с использованием критерия сложности.

По существующим эталонам сложности [115] детали, подвергаемые обработке резанием, распределены на группы от 1 (шайбы, втулки) до 7 (станины металлорежущих станков). В частности, на рис. 4.10 приведены эскизы деталей машин 1-ой и 3-ей групп сложности. Любую разрабатываемую деталь сравнивают с эталонами сложности и относят к тому или иному классу.

Объективные критерии сложности деталей, несмотря на ряд существующих исследований [116], пока не разработаны. В рамках выполненного исследования для упорядочения деталей машин выделялись доминирующие факторы, влияющие на сложность их разработки и изготовления. Основной фактор сложности детали – число входящих в нее поверхностей. При использовании конструкторских представлений (см. гл. 2) таким фактором является число КА-Т-комплексов (N_{KA}) в КАМД, подвергаемых технологическому воздействию (обработке резанием или поверхностно-пластическому деформированию). Стандарты ISO в области обеспечения качества рекомендуют использовать критерии, максимальное значение которых не превышает единицы [9].

Анализ конструкций 100 деталей машин различных и наиболее распространенных конструктивных классов [114, 115] и сложности показал, что для представления конструкций большинства из них необходимо не более 50 КА-Т-комплексов поверхностей, подвергаемых обработке резанием или поверхностно-пластическому деформированию.

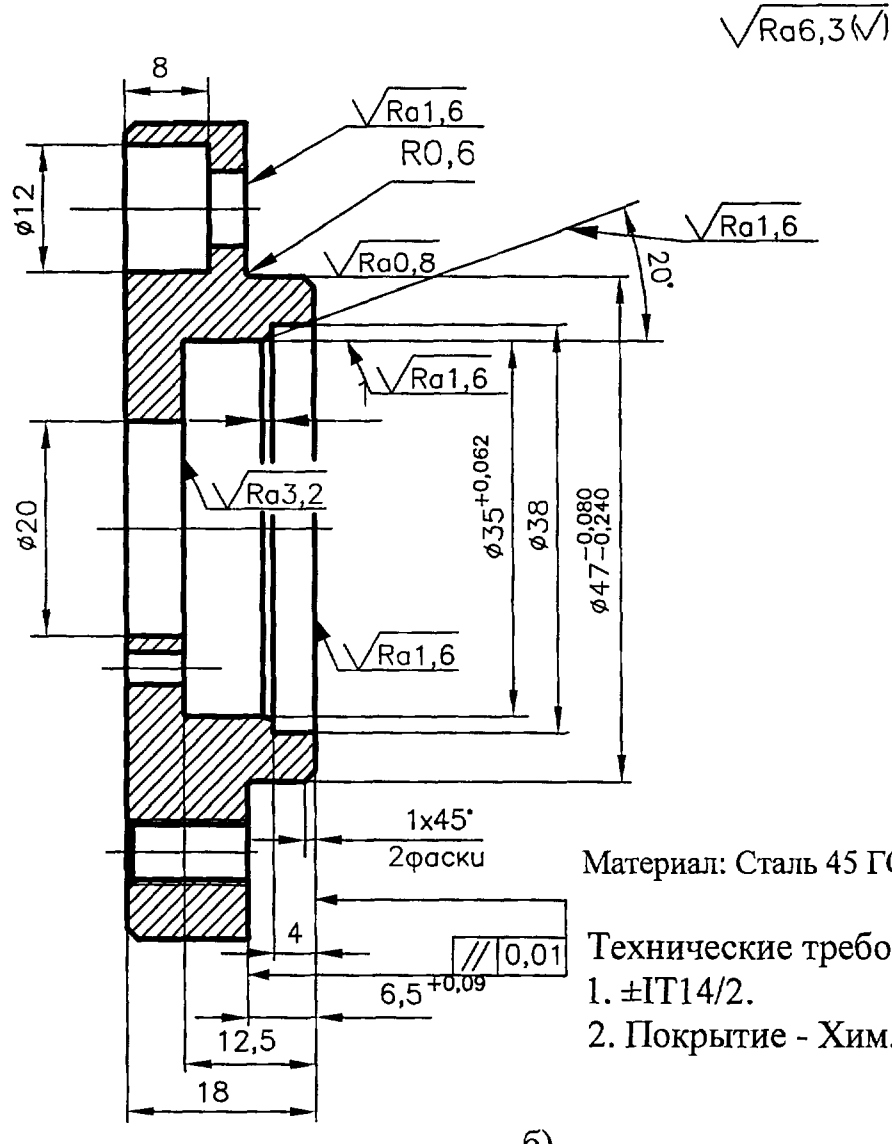
Вариантность таких представлений, вызванная субъективным выбором КА-Т-комплексов из библиотеки (см. прил. 1), влияет на число КА-Т-комплексов в КАМД. Устранить влияние вариантности возможно, если рассматривать КАМД, для формирования которой необходимо минимально возможное число КА-Т-комплексов. За критерий сложности принят показатель, равный:



Материал: Сталь 40Х ГОСТ 4543-88

Технические требования:
1. ±IT14/2.
2. Покрытие - Хим. Окс. прм.

а)



Материал: Сталь 45 ГОСТ 1050-88

Технические требования:
1. ±IT14/2.
2. Покрытие - Хим. Окс. прм.

б)

Рис. 4.10 Примеры деталей машин различных групп сложности: а) первой; б) третьей

$$C_д = 0{,}02 \cdot N_{КА}^{min}, \qquad (4.1)$$

где $N_{КА}^{min}$ – минимально возможное число КА-Т-комплексов для формирования КАМД. Номенклатура тестовых деталей представлена в прил. 6. Для конструкций указанных деталей диапазон значений критерия $C_д$ находится в пределах 0…0,6, поскольку детали с числом КА-Т-комплексов более 30 не рассматривались.

В качестве автоматизированных систем КПП и ТПП для последовательной разработки выбраны системы “AutoCAD 2004” фирмы “Autodesk” и САПР ТП “ТехноПро 5+ (Открытая)” фирмы “Вектор-Альянс”. Указанные системы применялись для разработки конструкций деталей машин различных классов и МТП их изготовления.

Для исследования макета системы была создана рабочая группа специалистов (конструктор, технолог), имеющих достаточных опыт использования САПР-К и САПР ТП, для которых определялась последовательность действий в соответствии с алгоритмом (см. рис. 4.1) и указывалось необходимое информационное обеспечение.

Сравнение длительности при различных методах разработки возможно только при получении достоверных результатов. Этому способствовало выполнение следующих условий:

1) тождественность исходных данных;

2) использование одинакового технического обеспечения (персональных компьютеров);

3) одинаковое владение специалистами методиками последовательной и совмещенной подготовки производства;

4) учет при измерении длительности только времени, непосредственно связанного с разработкой конструкции и МТП.

Для обеспечения первого условия выбирались детали в сборочной единице на основе имеющегося сборочного чертежа, представленного в бумажной

форме. Для всех деталей выбирался мелкосерийный тип их предполагаемого производства.

Третье условие обеспечивалось только после того, как специалист-конструктор овладевал одинаковыми навыками по использованию возможностей системы “AutoCAD 2004” и блока конструкторского проектирования, построенного на базе системы “T-Flex CAD 10 (учебная версия)”, а специалист-технолог – системы “ТехноПро 5+ (Открытая)” и блока формирования ТР.

Для обеспечения четвертого условия формировались последовательности действий исполнителей при реализации последовательной и совмещенной подготовки производства деталей с указанием необходимо информационного обеспечения, места и формы его хранения.

При последовательной разработке в системе “AutoCAD 2004” формировалась конструкция детали в сборочной единице, полностью разрабатывалась ее двумерная модель (рабочий чертеж). Фиксировалось время, затраченное на выполнение следующих действий: разработка двумерной геометрической модели детали; визуализация геометрических размеров; выбор материала; назначение технологических атрибутов (допусков размеров, формы, взаимного расположения, параметров качества поверхностного слоя и др.); назначение технических требований; выбор формата листа и заполнение основной надписи.

Созданная в среде “AutoCAD 2004” двумерная модель передавалась специалисту-технологу для построения МТП в системе “ТехноПро 5+ (Открытая)”. При разработке МТП фиксировалось время, затраченное на следующие действия: заполнение общих данных; выбор вида заготовки; разработка последовательности технологических операций; для каждой операции – выбор модели оборудования, типа приспособления, составление текстов переходов.

При совмещенной разработке для выбранной детали в блоке конструкторского проектирования разрабатывались ППД, КМД, КАМД в соответствии с действиями, представленными в алгоритме (см. рис. 4.1), выбирался формат листа и заполнялась основная надпись. При формировании указанных пред-

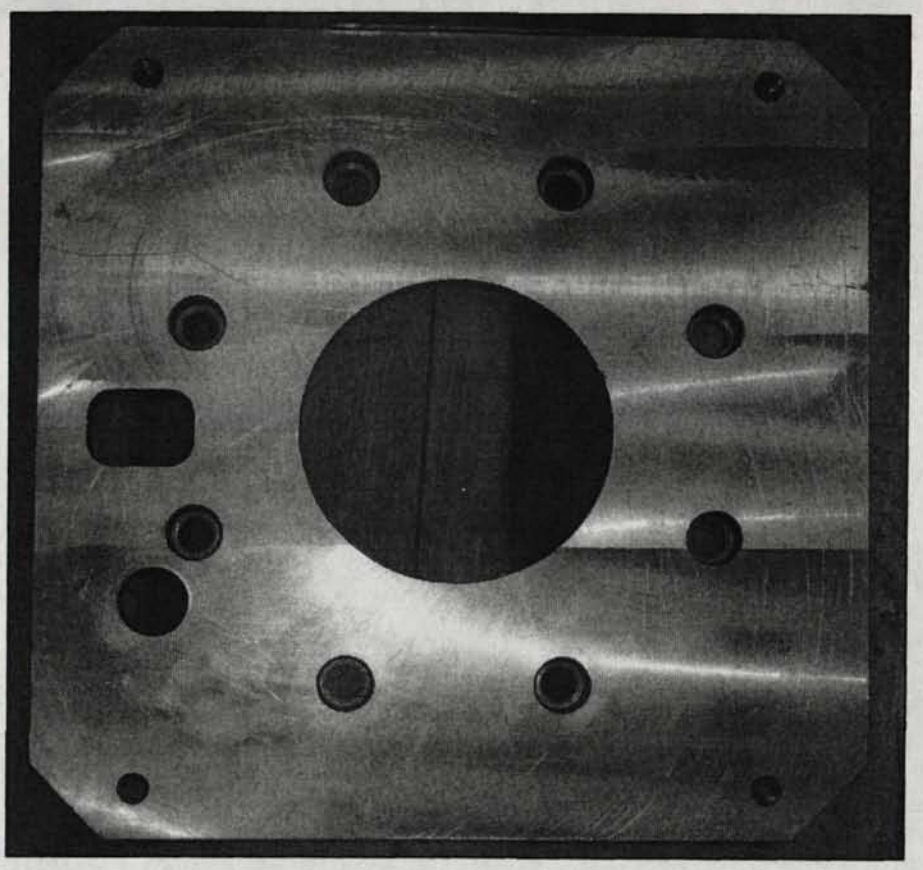
ставлений из библиотеки (см. рис. 4.2) выбирались Т-комплексы, объединяющие наибольшее число поверхностей, с близкими эксплуатационными свойствами. В блоке формирования ТР в соответствии с алгоритмом (см. рис. 4.1) и при помощи соответствующего интерфейса (см. рис. 4.4, 4.6, 4.8, 4.9) разрабатывались технологические модели и МТП. Фиксировалось время выполнения каждого этапа при создании конструкции и МТП. При последовательной и совмещенной разработке использовалось информационное обеспечение [30, 112], представленное в электронной форме. Разработанная технологическая документация впоследствии использовалась в серийном производстве указанных деталей (рис. 4.11).

Для получения объективных данных в ходе исследования, фиксировалось только время, непосредственно связанное с разработкой деталей, а совмещенная подготовка производства выполнялись спустя значительное время после последовательной. Длительность разработки конструкций деталей машин при представлена в табл. 16.

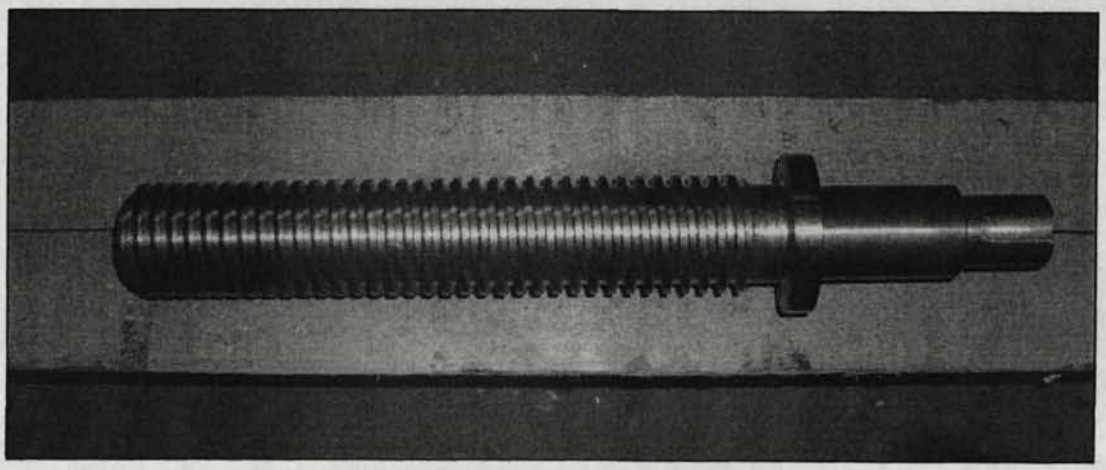
Таблица 16.

Длительность разработки конструкций деталей

№ и наименование детали (см. прил. 3)	Число КА-Т-комплексов, $N_{КА}$	Критерий сложности, $C_д$	Длительность разработки конструкции, час.	
			Последовательной, $T^П_К$	Совмещенной, $T^С_К$
1.Ось	10	0,2	0,45	0,56
2.Шайба	5	0,1	0,59	0,63
3.Винт ходовой	16	0,32	1,06	1,05
4.Вал	16	0,32	1,38	1,11
5.Шкив	17	0,34	1,86	1,63
6.Ниппель	12	0,24	0,67	0,85
7.Ступица	14	0,28	0,93	1,06
8.Корпус редуктора	28	0,56	2,47	2,21
9.Плита	11	0,22	0,82	0,74
10.Тройник	11	0,22	0,68	0,79
11.Стойка	10	0,2	0,68	0,79
12.Корпус	13	0,26	1,03	1,21
13.Плита	17	0,34	1,33	1,15
14.Червяк	20	0,4	2,2	2,0



а)



б)

Рис. 4.11 Детали машин, для разработки конструкции и маршрутного технологического процесса изготовления которых использовался макет системы совмещенной подготовки производства: а) плита; б) винт ходовой

Обработка эмпирических данных методом регрессионного анализа [117] позволила получить зависимости для длительности автоматизированной разработки конструкций (в часах) от показателя $C_д$ в области определения $C_д = 0...0,6$:

$$T_К^П = 0,46 + 7,5\,(C_д)^2 \text{ – при последовательной разработке;}$$

$$T_К^С = 0,58 + 5,9\,(C_д)^2 \text{ – при совмещенной разработке.} \qquad (4.2)$$

Полученные результаты (рис. 4.12, а) свидетельствуют о том, что использование параметрической среды проектирования с использованием Т-комплексов сокращает длительность разработки конструкции для деталей с числом КА-Т-комплексов более $N_{КА} = 13$. Длительность разработки ППД ($T_{ППД}^С$) составляет от 30 до 50% от трудоемкости разработки всей детали при последовательном подходе, что указывает на возможность для существенного совмещения этапов подготовки производства во времени:

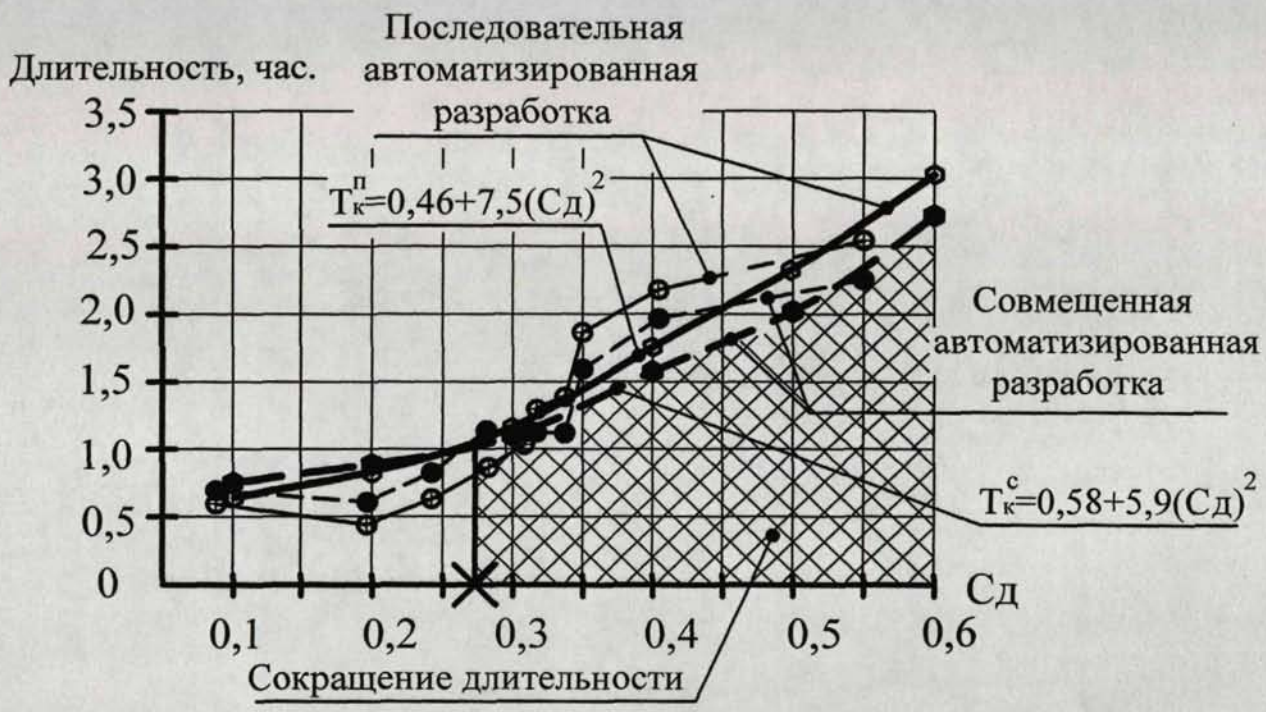
$$T_{ППД}^С = (0,3...0,5)\cdot T_К^П\,. \qquad (4.3)$$

В табл. 17 указана длительность разработки МТП изготовления деталей соответственно при использовании блока формирования ТР макета системы совмещенной подготовки производства и САПР ТП “ТехноПро 5+ (Открытая)”. Математическая обработка полученных данных позволила получить зависимости для длительности автоматизированной разработки МТП от показателя $C_д$ в области определения $C_д = 0...0,6$:

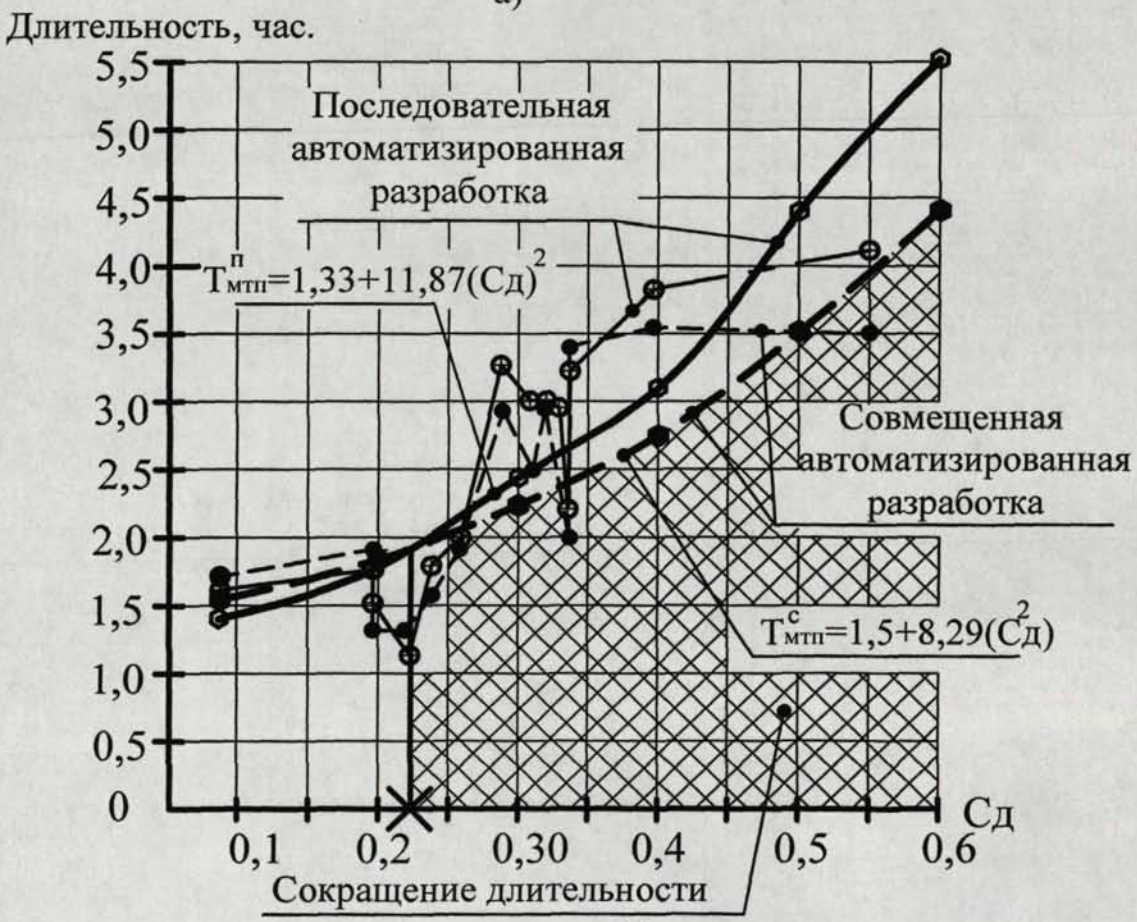
$$T_{МТП}^П = 1,33 + 11,87\cdot(C_д)^2 \text{ – при последовательной разработке;}$$

$$T_{МТП}^С = 1,5 + 8,29\cdot(C_д)^2 \text{ – при совмещенной разработке.} \qquad (4.4)$$

Предлагаемый подход к подготовке производства для деталей с числом КА-Т-комплексов более $N_{КА} = 11$ сокращает длительность разработки МТП (рис. 4.12, б). Соотношение длительности разработки ТМ ППД ($T_{ТМ\,ППД}^С$) и формирования МТП ($T_{МТП}^П$) при последовательной разработки описывается выражением:



а)



б)

Рис. 4.12 Зависимость длительности разработки от показателя сложности Сд: а) конструкции детали; б) МТП изготовления детали

$$T^{C}_{ТМ\,ППД} = (0{,}12\ldots0{,}15)\cdot\ T^{П}_{МТП}\,. \qquad (4.5)$$

Таблица 17.

Длительность разработки МТП изготовления деталей

№ и наименование детали	Число КА-Т-комплексов, $N_{КА}$	Критерий сложности, $C_д$	Длительность разработки МТП, час.	
			Последовательной, $T^{П}_{МТП}$	Совмещенной, $T^{C}_{МТП}$
1.Ось	10	0,2	1,75	1,9
2.Шайба	5	0,1	1,6	1,68
3.Винт ходовой	16	0,32	3,08	2,5
4.Вал	16	0,32	3,0	3,03
5.Шкив	17	0,34	3,18	3,46
6.Ниппель	12	0,24	1,75	1,56
7.Ступица	14	0,28	3,45	2,9
8.Корпус	28	0,56	4,13	3,5
9.Плита	11	0,22	1,33	1,6
10.Тройник	11	0,22	1,05	1,2
11.Стойка	10	0,2	1,48	1,2
12.Корпус	13	0,26	2,0	1,9
13.Плита	17	0,34	2,08	1,9
14.Червяк	20	0,4	4,0	3,52

Суммарные длительности разработки конструкций деталей и единичных МТП при последовательной ($T^{П}_{\Sigma}$) и совмещенной (T^{C}_{Σ}) разработке, а также сокращение длительности (δ) при использовании макета системы указаны в прил.3. Обработка полученных результатов позволила установить зависимости $T^{П}_{\Sigma}$, T^{C}_{Σ} и δ от критерия сложности $C_д$ (рис. 4.13):

$$T^{П}_{\Sigma} = 1{,}9 + 18{,}36\cdot(C_д)^2; \qquad (4.6)$$

$$T^{C}_{\Sigma} = 1{,}69 + 12{,}49\cdot(C_д)^2; \qquad (4.7)$$

$$\delta = 0{,}39\cdot(C_д)^{0{,}66}. \qquad (4.8)$$

Величина сокращения δ = 5… 20% соответствует значению $C_д$ = 0,1…0,3. Устойчивое сокращение δ = 20…28% характерно для деталей, у которых значение $C_д$ составляет 0,35…0,55 ($N^{min}_{КА}$ = 18…28).

Сокращение суммарной длительности разработки конструкции и МТП при упорядочении по критерию сложности $C_д$ отражено на рис. 4.14, а при упо-

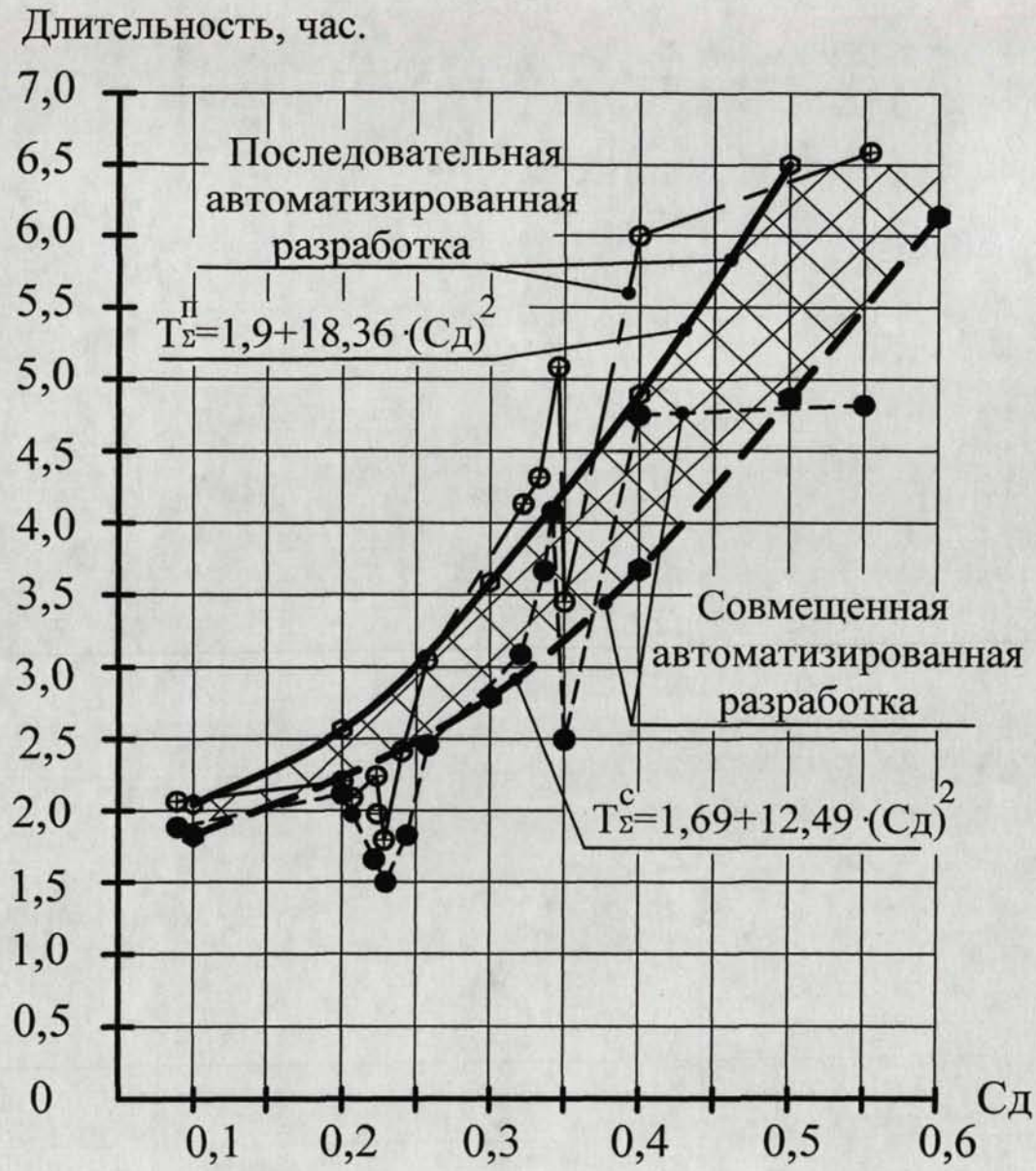


Рис. 4.13 Зависимость суммарной длительности последовательной ($T_{\Sigma}^{п}$) и совмещенной ($T_{\Sigma}^{с}$) разработки конструкции и маршрутного технологического процесса от показателя сложности $С_д$

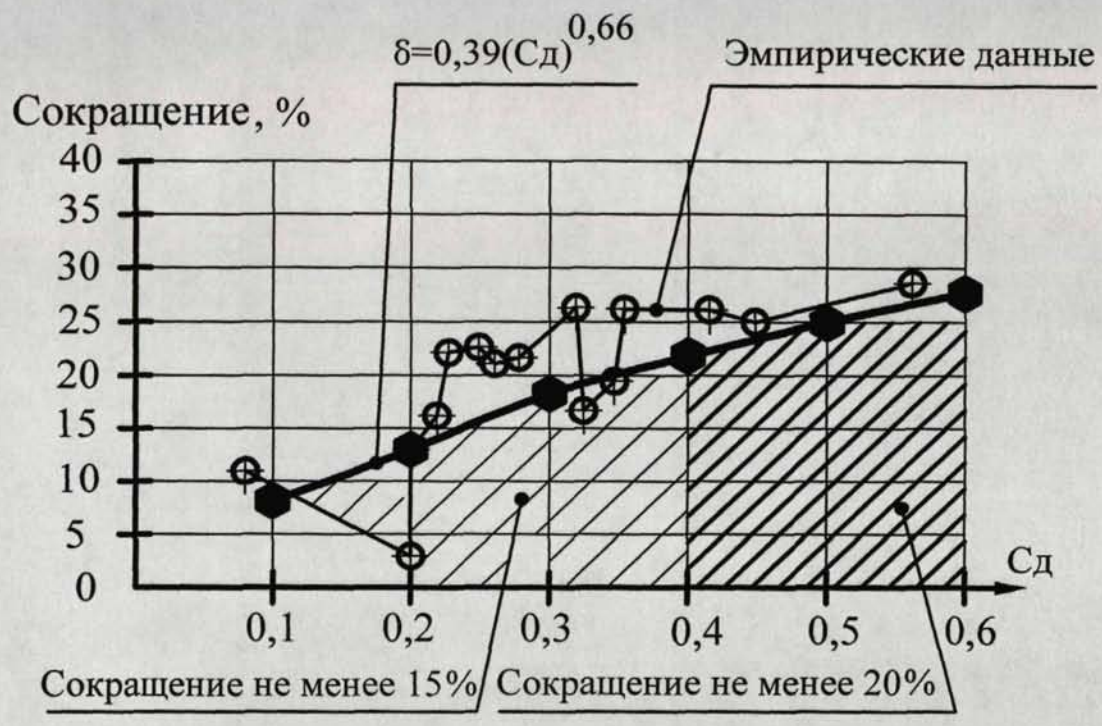


Рис. 4.14 Сокращение суммарной длительности разработки конструкции и маршрутного технологического процесса (δ) в зависимости от показателя сложности $С_д$ при использовании совмещенного проектирования

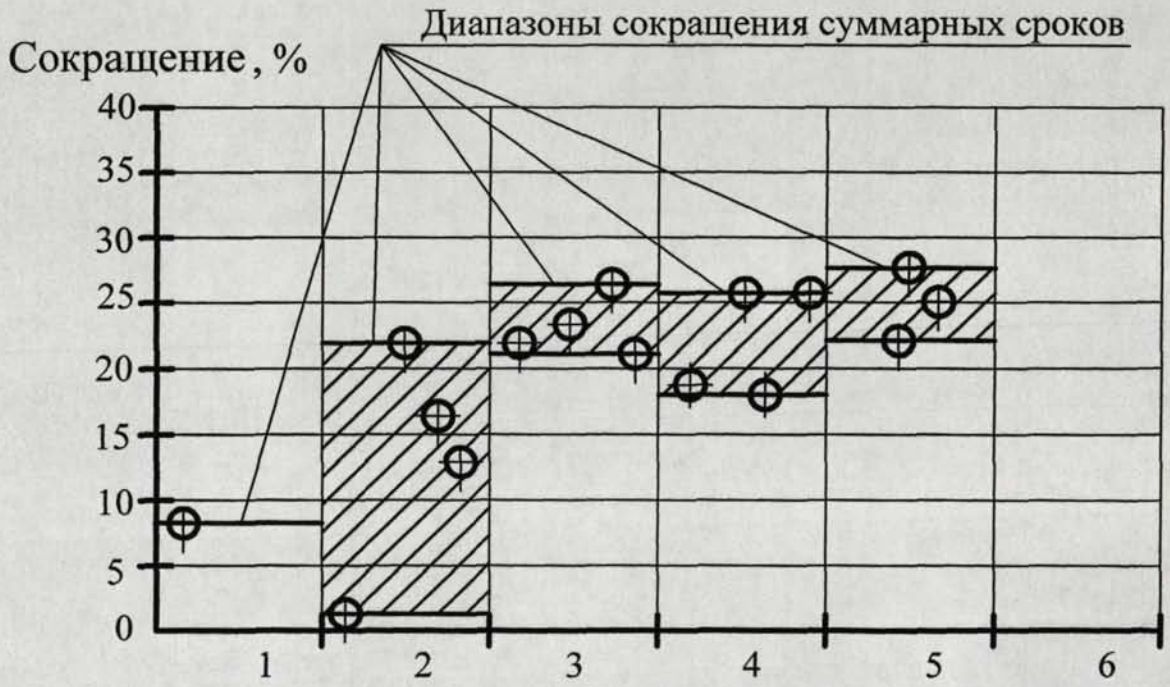


Рис. 4.15 Сокращение суммарной длительности разработки конструкции детали и маршрутного технологического процесса при совмещенном проектировании в зависимости от группы сложности (по эталонам)

рядочении по группам сложности – на рис. 4.15. Оба варианта не противоречат друг другу, что указывает на возможность использования критерия $C_д$ для укрупненной оценки сложности конструкции детали.

4.3. Выводы по главе 4

1. Показана возможность эффективной программной реализации совмещенной подготовки производства на базе разработанного алгоритма и использования доступных программных средств и различных подходов к моделированию разрабатываемой детали.

2. Длительности разработки конструкции детали и проектирования единичного маршрутного процесса ее изготовления определяются ее сложностью и могут быть достоверно оценены как для последовательного, так и для совмещенного проектирования по предложенным зависимостям.

3. Тестирование макета системы на реальных деталях машиностроения показало, что его использование позволяет снизить суммарную длительность автоматизированной разработки конструкции детали и единичного маршрутного технологического процесса ее изготовления в зависимости от ее сложности до 28%.

4. Наибольшее сокращение суммарной длительности разработки (20… 28%) характерно для деталей инвариантно их классу, конструкторско-атрибутированные модели которых включают 20 и более конструкторско-атрибутированных Т-комплексов.

ГЛАВА 5. ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ИСПОЛЬЗОВАНИЮ СОВМЕЩЕННОЙ ПОДГОТОВКИ ПРОИЗВОДСТВА В МАШИНОСТРОЕНИИ

5.1. Практические рекомендации по организации совмещенной технической подготовки производства

К моменту принятия решения об использовании совмещенной подготовки производства специалисты предприятия (или организации-разработчика) должны обладать достаточным опытом в использовании САПР-К и САПР ТП. В противном случае, ее эффективность окажется невысокой из-за потерь времени, не связанных напрямую с разработкой изделий и ТП. На сегодняшний день не существует нормативных документов, регламентирующих совмещенную подготовку производства, поэтому излагаемый порядок ее выполнения носит рекомендательный характер.

Предварительные действия, направленные на организацию совмещенной подготовки производства включают:

1. Создание опытного образца системы совмещенной подготовки производства.

2. Формирование рабочей группы исполнителей: выбор и обучение специалистов-разработчиков.

Полноценная разработка автоматизированной системы совмещенной подготовки производства – задача фирм-разработчиков систем автоматизации. При ее отсутствии опытный образец системы представляется совокупностью САПР-К и интерфейсом для формирования ТР, аналогичными изложенным в гл. 4.

Выбранная САПР-К должна удовлетворять следующим условиям:

1) обладать возможностью параметризации и ассоциативности;
2) позволять как двумерное, так и трехмерное проектирование;
3) позволять создание пользовательских библиотек;

4) обладать возможностью визуализации значений технологических атрибутов при трехмерном моделировании;

5) трехмерная САПР-К должна обладать возможностью преобразования поверхностных моделей в твердотельные.

В выбранной САПР-К разрабатывается пользовательская библиотека Т-комплексов (см. гл. 4) на основе каталога (прил. 1). Число Т-комплексов в библиотеке должно быть достаточным для разработки преобладающих для подразделения предприятия конструкций деталей. Для каждого Т-комплекса создается его параметрическая двумерная или трехмерная модель, задается множество технологических методов и условий их реализации (см. табл. 5). При использовании САПР-К, реализующей двумерное проектирование, для оформления КД создают шаблоны листов различных форматов.

Интерфейс для формирования ТР аналогичен представленному в гл. 4 (см. рис. 4.3 – 4.9). Для каждого этапа разрабатывают файл-шаблон, содержащий поля для записи данных о технологических моделях. Учитывая возможности современных программных средств, интерфейс может быть и более совершенным, в том числе с визуализацией разработанных конструкторских представлений деталей. Окна диалога при разработке ТМ ПТД, ТМ КМД, ТМ КАМД и МТП (см. гл. 4) содержат различное число полей записи, поэтому необходима автоматическая передача информации от предыдущего этапа к последующему.

В рабочую группу входят исполнители (конструктор, технолог), а при разработке сложных деталей и сборочных единиц и координатор группы. Исполнители должны обладать квалификацией ведущих специалистов и быть опытными пользователями современных САПР-К и САПР ТП. Передача и обмен информацией осуществляется средствами электронной почты или путем сетевого подключения персональных компьютеров. Подготовка группы заключается в получении первичных навыков выполнения процедур в соответствии с алгоритмом совмещенной подготовки производства на пробных деталях. Кон-

струкции пробных деталей должны быть заранее полностью известны и определены в рабочих и сборочных чертежах. Таким образом, действия исполнителя-конструктора в блоке конструкторского проектирования будут практически полностью исключать творческий характер. Число пробных деталей должно быть не менее 10…15, а их сложность различной.

В дальнейшем разрабатывают детали, входящие в состав сборочных единиц или изделий, являющихся предметами деятельности подразделения.

Совмещенной разработке деталей предшествуют:

1) выбор проектируемой сборочной единицы (изделия);

2) разработка ее компоновочной схемы (эскиза) или заимствование КД на изделие-аналог;

3) выполнение необходимых инженерных расчетов и определение геометрических параметров оригинальных деталей изделия;

4) определение объемов выпуска сборочной единицы и входящих в нее оригинальных деталей;

5) получение информации о текущих технологических возможностях производственных участков, в том числе с учетом загрузки или ремонта оборудования.

По завершении указанных действий приступают к совмещенной разработке конструкций деталей и МТП.

Этап разработки конструкции №1. Разработка ПТД:

1) начало отсчета времени;

2) выбор оригинальной детали;

3) идентификация исполнительных поверхностей детали;

4) последовательный выбор Т-комплексов исполнительных поверхностей, задание размеров поверхностей, внесение в рабочее пространство среды и взаимная ориентация;

5) назначение технологических атрибутов (формирование КА-Т-комплексов исполнительных поверхностей);

6) назначение группы материала детали;

7) сохранение файла, информирование специалиста-технолога о завершении разработки ППД;

8) фиксация времени выполнения.

Обязательное информационное обеспечение этапа разработки ППД: таблицы допусков и посадок; таблицы нормируемых параметров поверхностного слоя; данные о физико-механических свойствах групп и материалов деталей машин [30]; при двумерном проектировании – стандарты оформления КД (разрезов, сечений и пр.) [8].

Следующие этапы разработки конструкции детали выполняются одновременно с этапами создания МТП.

Этап разработки МТП №1. Разработка ТМ ППД:

1) получение информации о завершении разработки ППД;

2) начало отсчета времени;

3) открытие файла-шаблона для разработки ТМ ППД;

4) выбор наиболее предпочтительного вида заготовки, исходя из предполагаемой конфигурации детали и группы материала;

5) просмотр множества технологических методов формообразования, условий и результатов их реализации для каждого из КА-Т-комплексов исполнительных поверхностей;

6) построение ЭМОК для всех КА-Т-комплексов исполнительных поверхностей, с указанием достигаемых каждым технологическим методом значений технологических атрибутов поверхностей и комплексов: IT, Ra, Sm, tp, при необходимости параметров твердости HRC или HB, если они относятся только к материалу зоны поверхности или Т-комплекса;

7) присвоение каждому технологическому методу формообразования номера этапа МТП, на котором он реализуется;

8) упорядочение методов по номерам этапов МТП (выполняется автоматически в среде “Microsoft Access 2003”);

9) сохранение файла и информирование конструктора-разработчика об окончании разработки ТМ ППД;

10) фиксация времени выполнения.

Минимально необходимое информационное обеспечение этапа разработки ТМ ППД: данные об условиях и результатах реализации технологических методов, например, указанные в табл. 5 [39]; значения технологических атрибутов, достигаемых на различных этапах МТП (табл. 7) [23, 39] ; описания физической сущности различных технологических методов [111, 112]; значения технологических атрибутов, достигаемые при использовании методов ХТО [30, 112]; заготовки деталей и правила их выбора [34].

Длительность выполнения этапа разработки ТМ ППД существенно сокращается при программной реализации автоматической генерации вариантов ЭМОК.

Этап разработки конструкции №2. Разработка КМД:

1) начало отсчета времени;

3) идентификация связующих поверхностей детали;

4) последовательный выбор Т-комплексов связующих поверхностей, задание размеров поверхностей, внесение в рабочее пространство среды САПР-К и взаимная ориентация;

5) корректировка геометрических размеров КА-Т-комплексов исполнительных поверхностей;

6) назначение технологических атрибутов (формирование КА-Т-комплексов связующих поверхностей);

7) назначение марки детали;

8) при двумерном проектировании – оформление разрезов, сечений, предоставляющих информацию о геометрической форме детали;

9) сохранение файла, информирование специалиста-технолога о завершении разработки КМД;

10) фиксация времени выполнения.

Информационное обеспечение этапа разработки КМД дополнительно к используемому на этапе построения ППД: при двумерном проектировании – правила оформления КД (разрезов, сечений и пр.) [8]; типовые конструкции деталей машин, сходных по конфигурации с проектируемой [30].

Этап разработки МТП №2. Разработка ТМ КМД:

1) получение информации о завершении разработки КМД;

2) начало отсчета времени;

3) открытие файла-шаблона для разработки ТМ КМД;

4) запись информации из полей ТМ ППД в поля ТМ КМД (в рабочих версиях системы должна осуществляться автоматически);

5) просмотр множества технологических методов формообразования для всех каждого КА-Т-комплекса связующих поверхностей;

6) построение ЭМОК для всех КА-Т-комплекса связующих поверхностей;

7) присвоение и упорядочение методов по номерам этапов МТП;

8) упорядочение методов по номерам этапов МТП (выполняется автоматически в среде “Microsoft Access 2003”).

9) назначение для каждого технологического метода формообразования КА-Т-комплексов исполнительных и связующих поверхностей множества допустимых для его реализации ГО, типа оборудования и множества СУ;

10) объединение технологических методов формообразования в макеты технологических операций с присвоением каждому методу номера макета, в который он входит;

11) упорядочение макетов операций по порядку;

12) сохранение файла и информирование конструктора о завершении разработки ТМ КМД;

13) фиксация времени выполнения.

Информационное обеспечение этапа разработки ТМ КМД дополнительно к используемому при формировании ТМ ППД включает: схемы установки и типы приспособлений, применяемых при реализации различных технологиче-

ских методов [112] и правила их выбора; группы и типы оборудования, реализующие технологические методы и указание диапазонов обеспечиваемых ими технологических атрибутов [112]; правила группирования переходов в макеты операций [39].

Рабочие версии системы совмещенной подготовки производства должны предоставлять возможность выполнять группирование переходов в макеты операций автоматически.

Этап разработки конструкции №3. Разработка КАМД:

1) начало отсчета времени;

3) назначение технологических атрибутов уровня детали;

4) выбор формата листа и его внесение в рабочее пространство среды проектирования и заполнение основной надписи (выполняется при двумерном проектировании);

5) расчет массы;

6) информирование технолога и координатора группы о завершении разработки КАМД;

7) фиксация времени выполнения.

Обязательное информационное обеспечение этапа разработки КАМД: значения плотности материалов [30]; технические требования, предъявляемые к конструкциям деталей, сходных по конфигурации с проектируемой [13, 14, 30].

Результатом действий исполнителя-конструктора являются 3 файла, содержащих ППД, КМД, КАМД, не считая альтернативные варианты конструкторских представлений.

Этап разработки МТП №3. Разработка ТМ КАМД:

1) получение информации о завершении разработки КАМД;

2) начало отчета времени;

3) открытие файла-шаблона для разработки ТМ КАМД;

4) запись информации из полей ТМ КМД в поля ТМ КАМД;

6) внесение общих данных о ТП: наименование и номер детали, масса, код материала, вид заготовки, коэффициент использования материала и пр.

5) анализ последовательности макетов операций для их преобразования в операции маршрутного ТП;

6) выбор модели оборудования и единственной СУ для каждой операции;

7) внесение технологических переходов, направленных на создание технологических баз;

8) корректировка последовательности переходов и последовательности технологических операций формообразования;

9) составление текстов технологических переходов;

10) сохранение файла и информирование конструктора о завершении разработки ТМ КАМД.

Этап разработки МТП №4. Окончательная разработка МТП:

1) внесение в ТМ КАМД операций, не связанных с формообразованием;

2) определение для данных операций наименований применяемого оборудования, составление текстов технологических переходов;

3) корректировка последовательности переходов и (или) операций формообразования;

4) проверка полученных результатов;

5) оформление технологической документации в соответствии с требованиями стандартов (в рабочих версиях системы выполняется автоматически);

10) сохранение файла и информирование координатора о завершении разработки ТМ КАМД;

11) фиксация времени выполнения.

Информационное обеспечение этапов разработки ТМ КАМД и окончательной разработки МТП: общие правила разработки МТП [34, 39]; описание технологических операций и методов, не связанных с формообразованием [112]; каталоги технологического оборудования и СТО [112]; схемы контроля нормируемых параметров [112, 114].

Результатом действий специалиста-технолога становятся 4 файла, не считая альтернативных вариантов технологических моделей. По мере выполнения совмещенной подготовки производства необходимо накапливать данные о длительности разработки для ее эффективного планирования. Указанные этапы (см. рис. 4.1) реализуемы при совмещенной разработке конструкции и МТП одной оригинальной детали в составе изделия или сборочной единицы. При создании сборочных единиц их совмещенную разработку можно выполнять двумя путями:

1) совместно разрабатывать каждую деталь в отдельности и далее аналогично все детали сборочной единицы;

2) вести совмещенную разработку всех оригинальных деталей, создавая последовательно для них первичные представления, конструкторские и конструкторско-атрибутированные модели и соответствующие им технологические модели.

Второй путь реализуем рабочей группой, состоящей лишь из двух исполнителей, в то время, как непрерывная разработка при использовании первого способа, требует привлечения большего числа специалистов.

Разрабатываемые конструкторские представления должны быть использованы при разработке модели сборочной единицы. Полную информацию о геометрической форме содержат КМД, поэтому их следует, в первую очередь, использовать при создании модели сборочной единицы. При наличии у среды блока конструкторского проектирования ассоциативности, изменения, внесенные в геометрическую форму детали на этапе формирования КАМД, автоматически будут внесены в модель сборочной единицы.

Суммарные длительности последовательной $(T_\Sigma)^П$ и совмещенной $(T_\Sigma)^С$ разработки оригинальных деталей изделия (сборочной единицы) при выполнении рабочей группой (конструктор, технолог) соответственно оценивают по формулам:

$$(T_\Sigma)^П = (T_{ил})^П + (T_{МТП})^П;$$

$$(T_{\Sigma})^{C} = (T_{Иппд})^{C} + (T_{МТП})^{C}, \qquad (5.1)$$

где $(T_{Ид})^{П}$, $(T_{МТП})^{П}$ – соответственно длительности разработки конструкций и МТП оригинальных деталей одного изделия при последовательной подготовке производства; $(T_{Иппд})^{C}$, $(T_{МТП})^{C}$ – соответственно длительности разработки первичных представлений все оригинальных деталей и МТП их изготовления при совмещенной подготовке производства.

Для количественной оценки сокращения длительности принят ряд допущений. С учетом (4.3) длительность формирования первичных представлений всех деталей изделия $(T_{Иппд})^{C}$ укрупнено находится в пределах:

$$(T_{Иппд})^{C} = (0{,}3\ldots0{,}5)\cdot(T_{Ид})^{П}. \qquad (5.2)$$

В гл. 1 показано, что длительность разработки МТП изготовления детали, в среднем, в 1,5…2,2 раза превышает длительность создания конструкции детали, начиная с ее идентификации в сборочной единице и заканчивая выпуском рабочего чертежа, поэтому с учетом (5.1) и (5.2) примем:

$$(T_{МТП})^{П} \approx (1{,}5\ldots2{,}2)\cdot(T_{Ид})^{П};$$

$$(T_{МТП})^{C} \approx 0{,}75\cdot(T_{МТП})^{П}. \qquad (5.3)$$

С учетом (5.1) – (5.3) получим приближенное (расчетное) значение относительного сокращения суммарной длительности (Δ) при использовании совмещенной подготовки производства оригинальных деталей:

$$\Delta = \frac{(T_{\Sigma})^{П} - (T_{\Sigma})^{C}}{(T_{\Sigma})^{П}} \cdot 100\% = (0{,}27\ldots0{,}71)\cdot 100\% = 27\ldots71\%. \qquad (5.4)$$

Формирование первичных представлений в составе изделия или сборочной единицы позволяет на их основе не только разработку МТП (см. гл. 2), но и отработку детали на технологичность. Учитывая, что в Т-комплексы объединены поверхности, характеризующиеся общностью формообразования, анализ технологичности конструкторских представлений детали можно упростить: технолог получает возможность идентифицировать совокупность заранее “технологичных” сочетаний поверхностей – Т-комплексов.

Процесс совмещенной подготовки производства является методически открытым для применения при разработке МТП изготовления сложных деталей концепции направленного формирования их свойств, в том числе и эксплуатационных [9].

Для организации совмещенной подготовки производства в масштабах предприятия или группы смежных предприятий необходимо исследование процессов формирования проектных конструкторских решений и ТР, охватывающих все этапы КПП и функции ТПП, включая анализ технологичности, выбор и подготовку, проектирование СТО. Кроме того, при создании наукоемких изделий и деталей машин потребуется создание методик совмещенной разработки конструкций заготовок и заготовительных ТП.

Результаты исследования показали, что принципиально возможна организация совмещенной подготовки производства на машиностроительных предприятиях РФ. Возможность разработки методически непротиворечивых технологических моделей на основе ограниченной информации о конструкции детали, в конечном итоге, должна привести к пересмотру подходов к создаваемым автоматизированным системам подготовки производства. Необходимы новые схемы взаимодействия специалистов, предполагающие формирование согласованных решений на ранних стадиях создания машин.

5.2. Практическая реализация методики совмещенной разработки оригинальных деталей (на примере сборочной единицы “червячный мотор-редуктор”)

Практическое подтверждение эффективности совмещенной подготовки производства выполнялось при разработке изделий, оригинальные детали которых серийно изготавливались на НПО “Мосгормаш”. Для этого создана рабочая группа исполнителей (ведущий инженер-конструктор и технолог 1-ой категории). Рабочие места исполнителей оснащены персональными компьютерами, подключенными в локальную сеть. Для выполнения совмещенной и последовательной подготовки производства выбиралась сборочная единица “червячный мотор-редуктор”, эскиз которой представлен на рис. 5.1. Сборочная единица состояла из 13 оригинальных деталей, наиболее сложными из которых являлись “корпус”, “червяк”, “червячное колесо”, “стакан” (см. прил. 4). Объем выпуска сборочной единицы составил 50 шт.

Целью фирмы-разработчика была модификация имеющейся конструкции сборочной единицы “червячный мотор-редуктор”, а именно:

1) доработка конструкции детали “стакан” с целью улучшения ее технологичности;

2) применение асинхронного электродвигателя большей мощности, приводящее к изменению присоединительных размеров деталей “полумуфта” и “стакан”.

В качестве исходной информации для совмещенной и последовательной разработки выступала КД на изделие-аналог, представленная в бумажной форме. Таким образом, устранялась необходимость поиска новой конструкции, что облегчало сравнение длительности последовательной и совмещенной подготовки производства, а условия конструирования при этом становились одинаковыми.

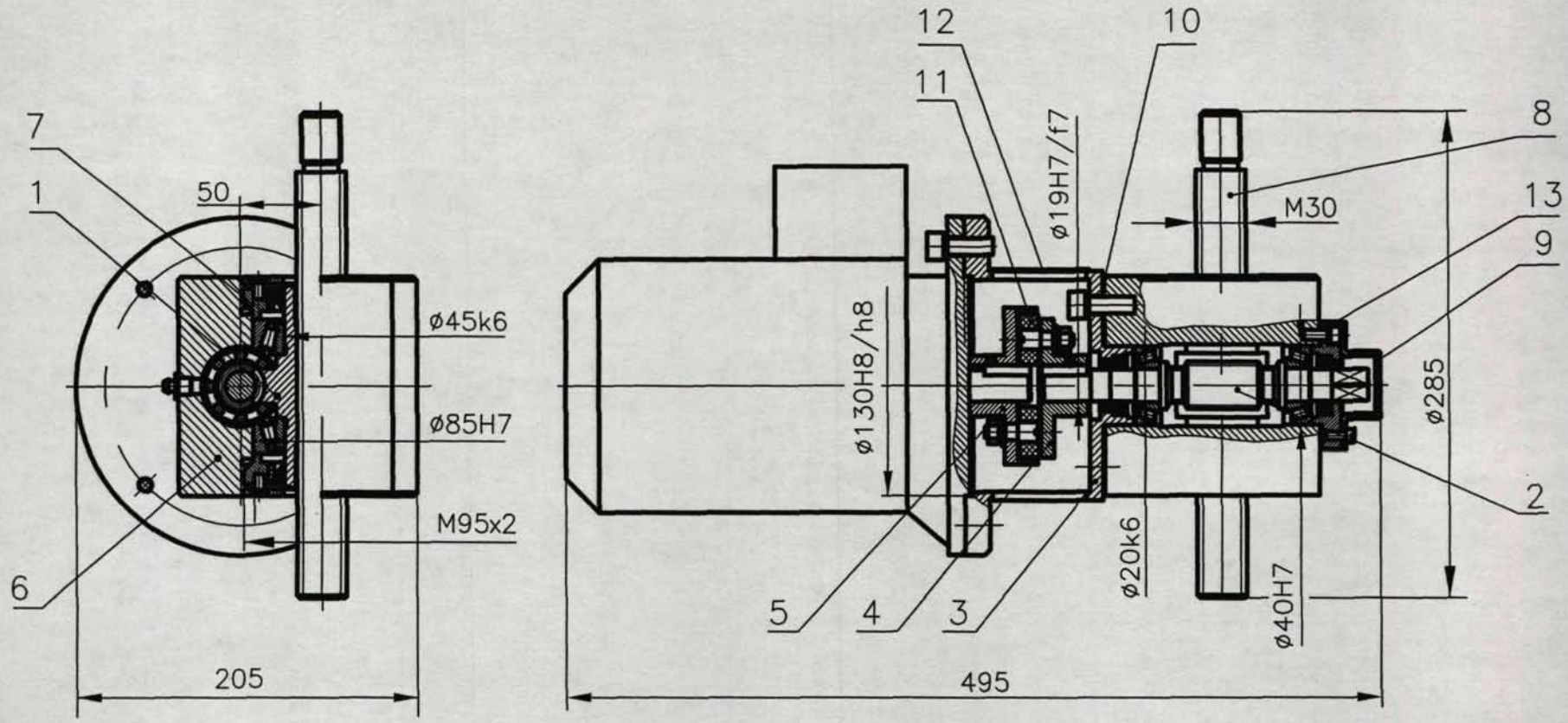


Рис. 5.1 Эскиз сборочной единицы "червячный мотор-редуктор":
1 - колесо; 2 - червяк; 3 - стакан; 4 - полумуфта;
5 - полумуфта; 6 - корпус; 7 - крышка; 8 - винт
ходовой; 9 - наконечник; 10 - прокладка;
11 - палец; 12 - крышка; 13 - крышка

На первом этапе исполнителем-конструктором выполнялась последовательная разработка двумерных моделей оригинальных деталей и двумерной модели сборочной единицы средствами САПР-К “AutoCAD 2004” в соответствии с действиями, перечисленными в гл. 4. Время разработки конструкции каждой оригинальной детали фиксировалось. По окончании создания двумерных моделей оригинальных деталей исполнителем-технологом разрабатывались МТП их изготовления в среде САПР ТП “ТехноПро 5+ (Открытая версия)”. Разработка МТП предполагала формирование последовательности технологических операций и текстов переходов, с указанием моделей применяемого оборудования и приспособлений. Время построения МТП изготовления каждой оригинальной детали фиксировалось. На основе разработанных двумерных моделей оригинальных деталей “червячного мотор-редуктора” и МТП их изготовления формировались комплекты конструкторской и технологической документации.

На втором этапе выполнялась совмещенная разработка оригинальных деталей сборочной единицы. Исполнитель-конструктор использовал блок конструкторского проектирования макета системы совмещенной подготовки производства (см. гл. 4). В соответствии с изложенной методикой последовательно разрабатывались первичные представления всех оригинальных деталей, затем аналогично конструкторские и конструкторско-атрибутированные модели всех оригинальных деталей. Первыми разрабатывались конструкции наиболее сложных деталей, последними – детали простой конфигурации. Время выполнения этапов для каждой разрабатываемой детали фиксировалось.

Исполнитель-технолог использовал интерфейс блока формирования ТР, последовательно для всех оригинальных деталей создавая ТМ ППД, ТМ КМД, ТМ КАМД и МТП. В дальнейшем оформлялся комплект конструкторской и технологической документации. Длительность разработки конструкций и МТП изготовления оригинальных деталей “червячного мотор-редуктора” представлена в табл. 18 и на диаграмме, представленной на рис. 5.2. Совмещенное про-

ектирование позволило сократить длительность подготовки производства оригинальных деталей с 48 до 33 часов, или на 32%.

Таблица 18.

Длительность разработки конструкций и МТП изготовления оригинальных деталей "червячного мотор-редуктора"

Номер детали	Наименование детали	Длительность последовательной разработки, час.			Длительность совмещенной разработки, час.		
		Конструкции	МТП	Суммарная	Конструкции	МТП	Суммарная
1	Колесо	1,5	3,5	5,0	1,3	3,2	3,8
2	Червяк	1,8	3,3	5,1	1,7	3,2	3,6
3	Стакан	1,2	2,6	3,8	1,1	2,5	3,0
4	Корпус	2,4	4,1	6,5	2,1	3,5	4,7
5	Винт ходовой	1,4	3,0	3,4	1,3	2,5	2,9
6	Крышка	1,0	2,4	3,4	0,9	2,3	2,7
7	Полумуфта	0,6	1,5	2,1	0,7	1,7	2,2
8	Полумуфта	0,6	1,6	2,2	0,7	1,7	2,2
9	Крышка	0,9	2,2	3,1	0,9	2,0	2,5
10	Наконечник	0,5	1,4	1,9	0,6	1,5	2,0
11	Прокладка	0,3	0,7	1,0	0,3	0,9	1,0
12	Палец	0,8	1,3	2,1	0,9	1,3	2,0
13	Крышка	0,6	1,0	1,6	0,8	1,1	1,6

Полученные результаты не противоречат расчетному сокращению длительности (5.4) и свидетельствуют о возможности создания рабочих групп, занятых совмещенной подготовкой производства деталей, а в перспективе – сложных изделий машиностроения. Основной трудностью при создании рабочих групп являются изменяющиеся условия подготовки производства: технолог должен быть готов к формированию ТР на основе неполной информации о детали и их возможному пересмотру практически в любой момент времени; ответственность конструктора повышается из-за того, что каждое из представлений детали (ППД, КМД, КАМД) является одновременно входной информацией для этапов построения МТП.

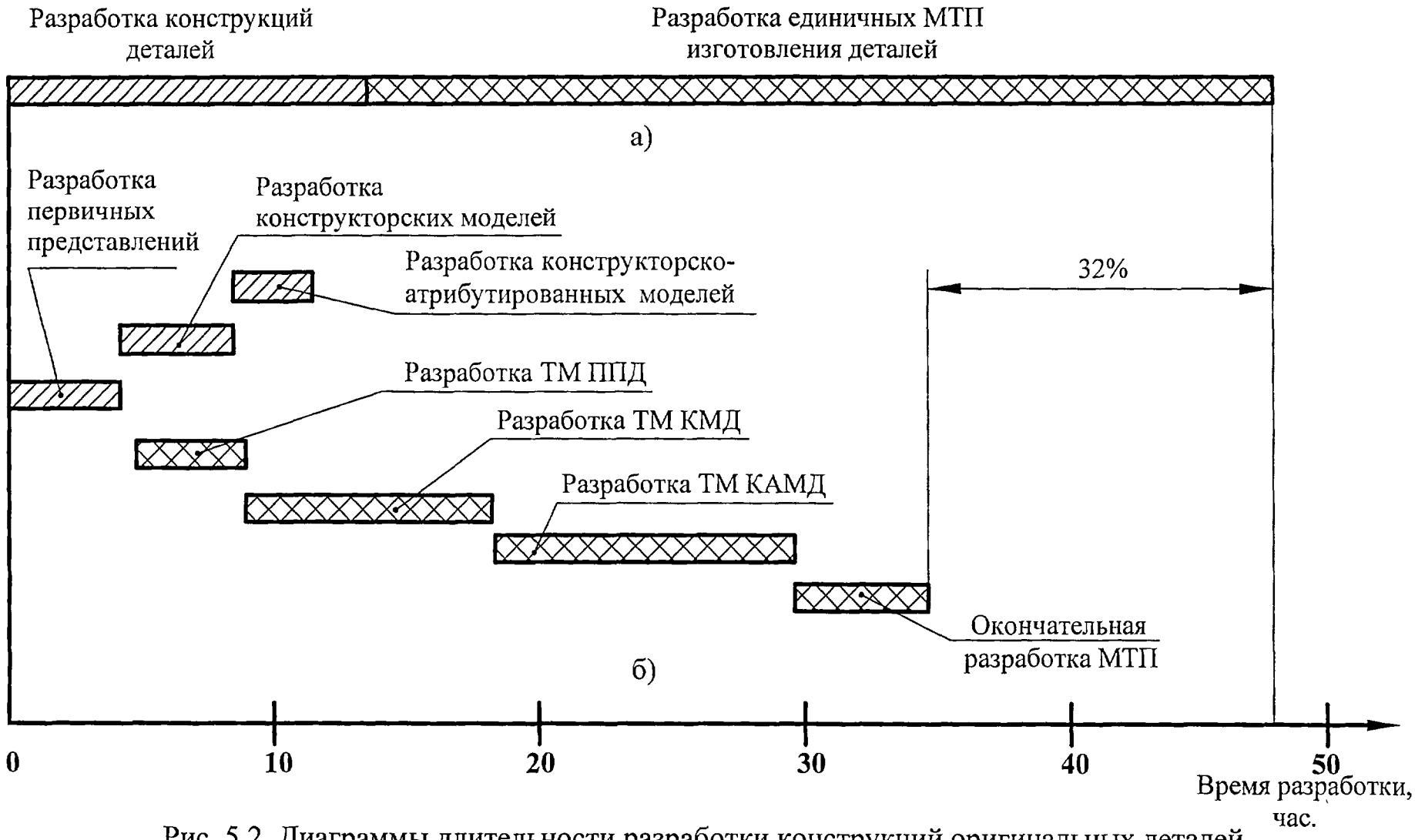


Рис. 5.2 Диаграммы длительности разработки конструкций оригинальных деталей сборочной единицы "червячный мотор-редуктор" и МТП их изготовления рабочей группой (конструктор, технолог): а) последовательной; б) совмещенной

Проведен анализ полученных результатов (см. табл. 18) с точки зрения выбора последовательности разработки, обеспечивающей наибольшее сокращение длительности по сравнению с последовательным проектированием. В качестве альтернативных случаев рассмотрены:

1) совмещенная разработка первичные представлений всех оригинальных деталей, конструкторских и конструкторско-атрибутированных моделей и соответствующих им технологических (см. рис. 5.2);

2) совмещенная разработка каждой оригинальной детали и далее, последовательно всех деталей изделия;

3) последовательная разработка оригинальных деталей средствами САПР-К “AutoCAD 2004” и САПР ТП “ТехноПро 5 + (Открытая версия)” с передачей двумерных моделей деталей для разработки МТП по мере их готовности.

Установлено, что предлагаемая схема (см. рис. 5.2) обеспечивает наибольшее сокращение длительности и непрерывную разработку двумя исполнителями.

Использование макета системы совмещенной подготовки производства при разработке оригинальных деталей “червячного мотор-редуктора” подтверждает результаты исследования, приведенные в гл. 4. В табл. 19 представлены расчетные значения величины сокращения суммарной длительности, полученные при использовании (4.8) и результаты практического совмещенной подготовки производства.

Выявлено, что сокращение длительности разработки конструкций оригинальных деталей (для деталей с числом КА-Т-комплексов более 15) составило 8...13%, а МТП их изготовления – 4...13%. Для указанных деталей (“колесо”, “червяк”, “стакан”, “корпус”, “крышка”) (см. прил. 4) сокращение суммарной длительности составляет 18...28%. В конструкции “червячного мотор-редуктора” 7 оригинальных деталей из 13 представимы числом КА-Т-комплексов более 15. Именно наличие в сборочной единице указанных деталей

Таблица 19.

Расчетные и полученные значения величины сокращения суммарной длительности оригинальных деталей “червячного мотор-редуктора”

Номер детали	Наименование детали	Критерий сложности, $C_д$	Расчетная величина сокращения, %	Полученная величина сокращения, %
1	Колесо	0,36	20	24
2	Червяк	0,42	22	29
3	Стакан	0,36	20	21
4	Полумуфта	0,2	13	5
5	Полумуфта	0,18	13	0
6	Корпус	0,56	27	28
7	Крышка	0,34	18	19
8	Винт ходовой	0,22	14	17
9	Наконечник	0,18	13	7
10	Прокладка	0,06	6	0
11	Палец	0,16	14	5
12	Крышка	0,1	10	0
13	Крышка	0,28	17	20

обеспечивает сокращение длительности (см. рис. 5.2). Сказанное подтверждает предположение о том, что совмещенное проектирование имеет границы эффективности и для сборочных единиц наивысшего порядка, расчленяемых только на детали. Совмещенная разработка должна обеспечивать сокращение суммарной длительности не менее, чем для 30...50% входящих в сборочную единицу оригинальных деталей. В противном случае, добиться значительного снижения времени создания новых деталей и сборочных единиц не удастся, а значительные капитальные затраты сделают переход к совмещенной подготовке производства убыточным и неэффективным.

Целесообразно использовать зависимости (4.6) – (4.8) для укрупненной оценки сложности деталей и прогнозирования сокращения длительности, даже в том случае, если не существует КД на сборочную единицу-аналог, а предполагаемые конструкции деталей представлена только в виде эскизов.

В гл. 3 показано, что возможна совмещенная разработка деталей с сокращением длительности даже при внесении в ранее разработанные конструктор-

ские представления изменений. Между тем, практическая реализация методики показала необходимость ограничения действий конструктора при формировании КАМД, т.к. создаваемая одновременно ТМ КМД содержит базовую информацию о структуре будущего МТП. Существенная корректировка структуры, в случае, если она выполняется в диалоговом режиме, неизбежно увеличивает длительность разработки. Устранению этой проблемы будет способствовать нормирование производственно-технических показателей качества, прямо влияющих на эксплуатационные свойства исполнительных поверхностей деталей машин.

Макет системы совмещенной подготовки производства не обладает достоинствами, которые необходимо реализовать при разработке рабочих версий систем. К ним относятся:

1) разработка современных баз данных для удобства хранения и доступа к результатам разработки;

2) программная реализация формализуемых задач (генерирование ЭМОК; группирование переходов);

3) использование моделей для экономического анализа формируемых решений;

4) отображение изменений, вносимых в конструкции деталей в режиме реального времени;

5) ассоциативность конструкторских представлений и технологических моделей.

При практической реализации методики совмещенной подготовки производства на примере “червячного мотор-редуктора” целенаправленно не учитывалось время, затрачиваемое на согласование формируемых решений, прежде всего, при отработке деталей на технологичность. Рамки исследования ограничены совмещением во времени этапов конструирования и разработки МТП, по сути, тех этапов технической подготовки производства, которые определяют будущий облик машины и обеспечивают показатели ее эксплуатационного ка-

чества. Для полноценного использования совмещенного проектирования, требуются исследования всех процессов подготовки производства, прежде всего, поиск минимальной информации о деталях и сборочных единицах, необходимой для выполнения различных функций ТПП.

5.2. Выводы по главе 5

1. Предложена инженерная методика совмещенной подготовки производства деталей машин и определены условия ее эффективной реализации.

2. Доказана возможность и эффективность совмещенной подготовки производства деталей машин в условиях действующего предприятия при минимальном составе рабочих групп и использовании макетного варианта программно-технического обеспечения.

3. Установлен расчетный диапазон сокращения длительности разработки оригинальных деталей в составе сборочных единиц и изделий при применении совмещенного проектирования, составляющий 27…70%.

4. Практическое применение совмещенной подготовки производства оригинальных деталей изделия “червячный мотор-редуктор” подтвердило возможность ее реализации и обеспечило сокращение суммарной длительности с 48 до 33 часов.

5. Для полноценной реализации совмещенной подготовки производства на современных машиностроительных предприятиях требуется научное исследование процессов формирования проектных решений, охватывающих все этапы технической подготовки производства, и совершенствование соответствующих автоматизированных систем.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

1. Моделирование конструкций разрабатываемых деталей сочетанием комплексов их поверхностей, связанных общностью технологии формообразования, при заданных значениях технологических атрибутов позволяет получать представления деталей, содержащие информацию, достаточную для формирования моделей проектных технологических решений соответствующих уровней.

2. Технологическая модель, соответствующая первичному представлению детали, отображаемая совокупностью технологических методов формообразования конструкторско-атрибутированных технологических комплексов исполнительных поверхностей, может использоваться как основа для разработки единичного маршрутного технологического процесса или поиска процесса-аналога.

3. Технологические модели проектных решений, соответствующие любому уровню представления геометрической формы и атрибутов разрабатываемой детали, формально описываются списками применяемых методов формообразования, упорядоченность которых определяется уровнем представления разрабатываемой детали. Формальное описание моделей позволяет использовать для их исследования аппарат технологического подобия.

4. Вариантные технологические модели, соответствующие представлениям разрабатываемой детали различных уровней, взаимно непротиворечивы и отвечают основным общетехнологическим принципам и правилам, а также характеризуются высокими (0,70…0,85) оценками технологического подобия.

5. Показана возможность эффективной программной реализации совмещенной подготовки производства на базе разработанного алгоритма и использования доступных программных средств и различных подходов к моделированию разрабатываемой детали.

6. Тестирование макета системы совмещенной подготовки производства на реальных деталях машиностроения позволило снизить суммарную длительность автоматизированной разработки конструкции детали и единичного маршрутного технологического процесса ее изготовления в зависимости от ее сложности до 28%.

7. Существует резерв повышения качества проектных решений при совмещенной подготовке производства за счет раннего, простого и наглядного диагностирования ошибок в разработке, а также технологического обеспечения эксплуатационных свойств деталей. Расчетный диапазон возможного сокращения длительности технической подготовки производства деталей машин составляет 27…70%.

8. Совмещенная разработка конструкции детали и маршрутного технологического процесса ее изготовления, является базой для совмещенной подготовки производства сборочных единиц и изделий и открыта для использования при ее реализации передовых методов конструирования и технологической подготовки производства.

9. Показано эффективное практическое применение совмещенного проектирования оригинальных деталей сборочной единицы “червячный мотор-редуктор”, продемонстрировавшее сокращение длительности подготовки их производства с 48 до 33 часов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Попов А.М. Методологические основы интегрированных САПР машиностроительных производств. – Ростов н/Д.: ДГТУ, 2005. – 114 с.

2. Информационно-вычислительные системы в машиностроении. CALS-технологии / Ю.М. Соломенцев, В.Г. Митрофанов, В.В. Павлов и др. – М.: Наука, 2003. – 292 с.

3. Норенков И.П. Основы автоматизированного проектирования. – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002. – 336 с.

4. ГОСТ 23501.101-87. Системы автоматизированного проектирования. Основные положения. – М.: Изд-во стандартов, 1988. – 11 с.

5. Смирнов А.В., Юсупов Р.М. Совмещенное проектирование: необходимость, проблемы внедрения, перспективы. – СПб.: СПИИРАН, 1992. – 36 с.

6. Прохоров А.Ф. Общая методология проектирования машин. – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 1994. – 44 с.

7. Бушуев В.В. Практика конструирования машин: Справочник. – М.: Машиностроение, 2006. – 448 с.

8. Единая система конструкторской документации. Общие положения: Сб. стандартов. – М.: Стандартинформ, 2005. – 255 с.

9. Направленное формирование свойств изделий машиностроения / А.С. Васильев, А.М. Дальский, Ю.М. Золотаревский и др. – М.: Машиностроение, 2005. – 352 с.

10. Кашуба Л.А. Параллельное проектирование средствами CAD/CAD/CAE в жизненном цикле изделий машиностроения // Программные продукты и системы. – 1998. – №3. – С. 24 – 31.

11. Хилл П. Наука и искусство проектирования. – М.: Мир, 1973. – 230 с.

12. Ханзен Ф. Основы общей методики конструирования. – Л.: Машиностроение, Ленинигр. отд-ие, 1969. – 164 с.

13. Орлов П.И. Основы конструирования: Справочно-методическое пособие; В 3-х кн.– М.: Машиностроение, 1977. – Кн. 1. – 623 с.

14. Типовые изделия машиностроения: Атлас / Под ред. П.Н. Учаева. – М.: Высшая школа, 2006. – 456 с.

15. Проектирование технологий машиностроения на ЭВМ / О.В. Таратынов, Б.М. Базров, В.В. Клепиков и др. – М.: МГИУ, 2006. – 519 с.

16. Детали машин и основы конструирования / Под ред. М.Н. Ерохина. – М.: КолосС, 2005. – 426 с.

17. Рот К. Конструирование с помощью каталогов. – М.: Машиностроение, 1995. – 420 с.

18. Модульное проектирование колесных машин / Под ред. Н.Ф. Бочарова. – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 1996. – 44 с.

19. Базров Б.М. Модульная технология в машиностроении. – М.: Машиностроение, 2001. – 368 с.

20. Капустин Н.М., Дьяконова Н.П., Кузнецов П.М. Автоматизация машиностроения. – М.: Высшая школа, 2003. – 223 с.

21. Высокие технологии размерной обработки в машиностроении / А.Д. Никифоров, А.Н. Ковшов, А.Г. Схиртладзе и др. – М.: Высшая школа, 2007. – 327 с.

22. Конструкция и проектирование авиационных газотурбинных двигателей / Под ред. Д.В. Хронина. – М.: Машиностроение, 1989. – 368 с.

23. Технологическая наследственность в машиностроительном производстве / А.М. Дальский, Б.М. Базров, А.С. Васильев и др. – М.: МАИ, 2000. – 364 с.

24. Базров Б.М. Основы технологии машиностроения. – М.: Машиностроение, 2005. – 736 с.

25. Балакшин Б.С. Основы технологии машиностроения. – М.: Машиностроение, 1969. – 358 с.

26. Чернов Л. Б. Основы методологии проектирования машин. – М.: Машиностроение, 1978. – 148 с.

27. Когаев В.П., Махутов Н.А., Гусенков А.П. Расчеты деталей машин на прочность и долговечность: Справочник. – М.: Машиностроение, 1985. – 224 с.

28. Колесов И.М. Основы технологии машиностроения. – М.: Машиностроение, 1997. – 592 с.

29. Дальский А.М., Суслов А.Г. Научные основы технологии машиностроения. – М.: Машиностроение, 2002. – 684 с.

30. Анурьев В.И. Справочник конструктора-машиностроителя; В 3 т. / Под ред. И.Н. Жестковой. – М.: Машиностроение, 2001. – Т.1. – 920 с.

31. Суслов А.Г. Качество поверхностного слоя деталей машин. – М.: Машиностроение, 2000. – 320 с.

32. Джонс Дж. К. Методы проектирования.– М.: Мир, 1986. – 326 с.

33. Шептунов С.А. Жизненный цикл продукции. – М.: Янус-К, 2003. – 244 с.

34. Технология машиностроения: Учебник для вузов; В 2 т. / Под. ред. А.М. Дальского. – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2001. – Т.1: Основы технологии машиностроения. – 564 с.

35. Митрофанов С.П. Групповая технология машиностроительного производства; В 2 т. – Л.: Машиностроение, Ленингр. отд-ие, 1983. – Т. 1: Организация группового производства. – 407 с.

36. Митрофанов С.П. Научные основы механизации группового производства. – Л.: Машиностроение, Ленингр. отд-ие 1976. – 189 с.

37. Кондаков А.И. САПР технологических процессов. – М.: Академия, 2007. – 272 с.

38. Аверченков В.И., Казаков Ю.М. Автоматизация проектирования технологических процессов. – Брянск: БГТУ, 2004. – 228 с.

39. Кондаков А.И. Разработка научно-методической базы автоматизированной поддержки решений производственно-технологического цикла: Дис. …докт. техн. наук. – М., 1999. – 441 с.

40. Технологичность конструкции изделия: Справочник / Под ред. Ю.Д. Амирова. – М.: Машиностроение, 1990. – 768 с.

41. Васильев А.С., Кондаков А.И. Выбор заготовок в машиностроении. – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2001. – 50 с.

42. Дальский А.М. Технологическое обеспечение надежности высокоточных деталей машин. – М.: Машиностроение, 1988. – 223 с.

43. Дальский А.М., Кулешова З.Г. Сборка высокоточных соединений в машиностроении. – М.: Машиностроение, 1988. – 303 с.

44. Воробей В.В., Логинов В.Е. Технология производства жидкостных ракетных двигателей. – М.: МАИ, 2001. – 496 с.

45. Конструирование и проектирование жидкостных ракетных двигателей / Под ред. Г.Г. Гахуна. – М.: Машиностроение, 1989. – 424 с.

46. Горнев В.Ф. Моделирование технологических и производственных процессов. – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002. – 61 с.

47. Судов Е.В. Интегрированная информационная поддержка жизненного цикла машиностроительной продукции. Принципы. Технологии. Методы. Модели. – М.: МВМ, 2003. – 264 с.

48. САПР изделий и технологических процессов в машиностроении / Под ред. Р.А. Аллика. – Л.: Машиностроение, Ленингр. отд-ие, 1986. – 319 с.

49. Гарбарчук В.И. Проблемы автоматизации и пути их решения. – Киев: УркНИИННТИ, 1981. – 56 с.

50. Сольницев Р.И., Соложенцев Е.Д. Вопросы формализации и интеллектуализации процессов проектирования в машиностроении. – СПб., 1992. – 48 с. (Препринт ИПМАШ РАН, № 66).

51. Голованов Н.Н. Геометрическое моделирование. – М.: Изд-во физ.-мат. лит-ры, 2002. – 472 с.

52. Ли К. Основы САПР. – СПб.: Питер, 2004. – 560 с.

53. Горюнова, В.В., Акимова В.Ю. Основы автоматизированного конструкторско-технологического проектирования. – Пенза: ПГУАС, 2005. – 216 с.

54. Сагитова С.И., Сайфуллина А.А., Фадеев С.В. Исследование возможностей программного комплекса T-Flex для автоматизации подготовки производства // Автоматизация и современные технологии. – 2006. – №1. – С. 28 – 35.

55. ГОСТ 2.052 – 2006. Единая система конструкторской документации. Электронная модель изделия. Общие положения. – М.: Стандартинформ, 2006. – 11 с.

56. Кизим А.В., Дворянкин А.М., Камаев В.А. Разработка программно-информационного комплекса систем поддержки деятельности главного конструктора машиностроительного предприятия // Вестник компьютерных и информационных технологий. – 2004. – №4. – С. 23 – 34.

57. Быков В.П. Программно-методический комплекс для поддержки ранних стадий проектирования машин // Вестник компьютерных и информационных технологий. – 2005. – №1. – С. 27 – 33.

58. Печатников Ю.М., Синицын А.А., Тумаров Р.Р. К вопросу внедрения САПР в машиностроении // Вестник машиностроения. – 2002. – №9. – С.64 – 66.

59. Андрейчикова О.Н., Андрейчиков А.В. Интеллектуальная система для синтеза технических объектов // Вестник машиностроения.– 2002. – №10. – С. 59 – 69.

60. Аверченков В.И., Казаков П.В. Автоматизация параметрического синтеза технических объектов на основе применения порождающих систем системологии инженерных знаний // Вестник компьютерных и информационных технологий. – 2007. – №6. – С. 20 – 25.

61. Евгенев Г.Б. Системология инженерных знаний. – М.: МГТУ им. Баумана, 2001. – 353 с.

62. Автоматизация поискового конструирования / Под ред. А.И. Половинкина. – М.: Радио и связь, 1981. – 344 с.

63. Цветков В.Д. Системно-структурное моделирование и автоматизация проектирования технологических процессов. – Минск: Наука и техника, 1979. – 260 с.

64. Цветков В.Д., Петровский А.И., Толкачев А.А. Проблемно-ориентированные языки систем автоматизированного технологического проектирования. – Минск: Наука и техника, 1984. – 192 с.

65. Челищев Б.Е., Боброва И.В. Автоматизированные системы технологической подготовки производства. – М.: Энергия, 1975. – 136 с.

66. Челищев Б.Е., Боброва И.В., Гонсалес-Сабатер А. Автоматизация проектирования технологии в машиностроении. – М.: Машиностроение, 1987. – 264 с.

67. Горанский Г.К., Бендерева Э.И. Технологическое проектирование в комплексных автоматизированных системах подготовки производства. – М.: Машиностроение, 1981. – 456 с.

68. Применение ЭВМ в технологической подготовке серийного производства / Под ред. С.П. Митрофанова. – М.: Машиностроение, 1981. – 287 с.

69. Автоматизация проектирования технологических процессов в машиностроении / Под ред. Н.М. Капустина. – М.: Машиностроение, 1985. – 304 с.

70. Капустин Н.М., Кузнецов П.М. Многообъектное технологическое проектирование в распределенных производственных системах // Вестник машиностроения. – 2002. – №10. – С. 70 – 74.

71. САПР в технологии машиностроения / В.Г. Митрофанов, О.Н. Калачев, А.Г. Схиртладзе и др. – Ярославль: ЯГТУ, 1995. – 298 с.

72. Андриченко А.Н. Вертикаль – новое поколение технологических САПР. Объектный подход // САПР и графика. – 2005. – №6. – С. 30 – 35.

73. Базров Б.М. Описание конструкции детали технологическими характеристиками // Вестник машиностроения. – 2006. – №9. – С. 53 – 58.

74. Базров Б.М. Организация проектирования модульных технологических процессов изготовления деталей // Вестник машиностроения. – 1995. – №4. – С. 23 – 28.

75. Тарасов А.Н. Разработка метода автоматизации технической подготовки в машиностроительном производстве на основе концепции локализованных поверхностей: Автореф. дис. ... докт. техн. наук. – М., 1992. – 47 с.

76. Куликов Д.Д., Яблочников Е.И. Методологические аспекты автоматизации технологической подготовки производства // Вестник компьютерных и информационных технологий. – 2004. – №4. – С. 35 – 42.

77. Старостин В.Г. Концепция алгоритмизации и формализации проектирования единичных процессов обработки резанием // Вестник компьютерных и информационных технологий. – 2004. – №2. – С. 27 – 30.

78. Исаченко В.А. Новые принципы подхода и формирования научных исследований в области техники и технологии // XIX чтения, посвященных разработке научного наследия и развития идей К.Э. Циолковского: Сб. науч. трудов. – М., 1985. – С. 17 – 33.

79. Введение в теорию интегрированных САПР гибких технологий и производств / Под ред. Ю.М. Соломенцева, В.А. Исаченко, В.Я. Полыскалина. – М.: Машиностроение, 1992. – 592 с.

80. Конинский И.А., Калачев О.Н. Компьютерно-интегрированная подготовка механообрабатывающего производства с использованием разнородных CAD/CAPP/CAM-систем // Вестник компьютерных и информационных технологий. – 2005. – №4. – С. 22 – 26.

81. CALS в авиастроении / Под ред. А.Г. Братухина. – М.: МАИ, 2002. – 676 с.

82. Шалумов А.С., Никишин С.И., Носков В.Н. Введение в CALS-технологии. – Ковров: КГТА, 2002. – 137 с.

83. Павлов В.В. Структурное моделирование в CALS-технологиях. – М.: Наука, 2006. – 307 с.

84. Информационная поддержка жизненного цикла изделий в машиностроении: принципы, системы и технологии CALS (ИПИ) / Под ред. А.Н. Ковшова. – М.: МГОУ, 2005. – 236 с.

85. Норенков И.П., Кузьмик П.К. Информационная поддержка наукоемких изделий.CALS-технологии. – М.: МГТУ им. Баумана, 2002. – 320 с.

86. Высокие технологии – основа развития современного производства / Л.Л. Бродский, А.С. Верещака, А.В. Рыбаков и др. // Вестник компьютерных и информационных технологий. – 2004. – №6. – С. 22 – 32.

87. Чемоданова Т.В. Pro/Engineer: деталь, сборка, чертеж. – Спб.: BHV, 2003. – 548 с.

88. Штарев В.В., Банкрутенко В.В., Лазарев А.Н. Сквозной цикл производства изделия как результат внедрения ИПИ-технологий в ОКБМ // САПР и графика. – 2008. – №4. – С. 68 – 74.

89. Типовые нормы времени на разработку конструкторской документации. – М.: Экономика, 1987. – 48 с.

90. Типовые нормы времени на разработку технологической документации. – М.: Экономика, 1988. – 76 с.

91. Всеобщее управление качеством / Под ред. О.П. Глудкина. – М.: Горячая линия-Телеком, 2001. – 600 с.

92. Попов М.Е., Попов А.М. Применение функции потерь качества для оценки и выбора проектных решений // Вестник машиностроения. – 2002. – №9. – С. 73 – 78.

93. Попов А.М. Технико-экономическое моделирование и оптимизация конструкции машин в интегрированных САПР. – Ростов н/Д.: ДГТУ, 2006. – 99 с.

94. Кишкурно В.С. Формирование технологической модели детали в автоматизированных системах КТП-ТПП: Автореф. дис. … канд. техн. наук. – СПб., 2005. – 16 с.

95. Шерстобитова В.Н. Алгоритмы интеграции систем автоматизации конструкторского и технологического проектирования: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Оренбург, 2004. – 16 с.

96. Аверченков В.И., Аверченков А.В. Автоматизация распознавания и идентификации конструкторско-технологических элементов деталей в интегрированных САПР // Вестник компьютерных и информационных технологий. – 2005. – №4. – С. 7 – 15.

97. Боткин Ю.А., Голдовский П.С. Интегрированная САПР и модульное проектирование // САПР и графика. – 2005. – № 6. – С. 45 – 50.

98. Басов К.А. CATIA V5. Геометрическое моделирование. – М.: ДМК Пресс, 2008. – 269 с.

99. Попов М.Е. Интеграция конструкторского и технологического проектирования в среде Интермех // Комплексная автоматизация технологической подготовки производства на ОАО «НПО «Сатурн» на базе программного обеспечения НПП Интермех: Сб. докл. – Рыбинск, 2005. – С. 25 – 32.

100. Самсонов О.С. Информационные модели процессов параллельного проектирования // Информационные технологии в проектировании и производстве. – 2002. – № 1. – С. 16 – 21.

101. Цырков А.В. Методология проектирования в мультиплексной информационной среде. – М.: ВИМИ, 1998. – 281 с.

102. Савинов А.М., Кузьмин Б.В. Совмещенное проектирование на базе интегрированной инструментальной программной среды и единой модели объект-процесс-среда // Программные продукты и системы. – 1998. – №3. – С. 38 – 42.

103. Тарасов В.А., Кашуба Л.А. Теоретические основы технологии ракетостроения. – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2006. – 352 с.

104. Безъязычный В.Ф., Шилков Е.В., Суворов О.Е. Автоматизация проектирования, технологической подготовки производства и обеспечения качества деталей ГТД на базе CALS–технологий // Справочник. Инженерный журнал. – 2007. – №2. – С. 34 – 37.

105. Тарица Г.В. Разработка методов выполнения подготовки производства судовых корпусных конструкций с использованием зарубежных CAD/CAM-систем в условиях параллельного проектирования: Автореф. дис. … канд. техн. наук. – СПб., 2005. – 25 с.

106. Кравченко Е.Е. Разработка и анализ конструкторско-технологических решений композитных тройников трубопроводов: Автореф. дис. … канд. техн. наук. – М., 2002. – 25 с.

107. Баскаков В.Д. Методология совмещенного конструкторско-технологического проектирования прецизионных кумулятивных зарядов // Оборонная техника. – 2005. – № 4 – 5. – С. 82 – 88.

108. Тарасов В.А., Баскаков В.Д. Методические основы совмещенного поиска конструкторских и технологических решений при разработке боеприпасов // Известия российской академии ракетных и артиллерийских наук. – 2004. – Вып. 3. – С. 33 – 38.

109. Зильбербург Л.И., Молочник В.И., Яблочников Е.И. Реинжиниринг и автоматизация технологической подготовки производства в машиностроении. – СПб.: Компьютербург, 2003. – 152 с.

110. Интеграция технологий проектирования и технологий принятия решений в системе комплексного автоматизированного производства высокотехнологичных изделий электронно-вычислительной техники / А.В. Вишнеков, Е.М. Иванова, И.Е. Сафонова и др. // Качество и ИПИ (CALS)-технологии. – 2004. – №1. – С. 55 – 62.

111. Кугультинов С.Д., Ковальчук А.К., Портнов И.И. Технология обработки конструкционных материалов. – М.: МГТУ им. Баумана, 2006. – 672 с.

112. Справочник технолога-машиностроителя; В 2-х т. / Под ред. А.М. Дальского, А.Г.Косиловой, Р.К. Мещерякова, А.Г. Суслова. – М.: Машиностроение, 2001. – Т.1. – 912 с.

113. Машиностроение: Энциклопедия; В 40 т. / Под ред. А.Г. Суслова. – М.: Машиностроение, 2000. – Т.III – 3: Технология изготовления деталей машин. – 840 с.

114. Обработка металлов резанием: Справочник технолога / Под ред. А.А. Панова. – М.: Машиностроение, 2004. – 784 с.

115. Эталоны для определения групп сложностей. Детали, проходящие механическую обработку. – М.: Оргстанкинпром, 1979. – 104 с.

116. Коршунов А.И. Определение конструктивно-технологической сложности машиностроительного изделия // Автоматизация и современные технологии. – 2006. – №9. – С. 36 – 42.

117. Миненко С.Н. Экономико-математическое моделирование производственных систем: Учебное пособие. – М.: МГИУ, 2006. – 140 с.

118. Cooper K.G. Rapid prototyping technology. – New York: CRC Press, 2001. – 274 p.

119. Skalak S.C. Implementing concurrent engineering in small companies. – New York: CRC Press, 2002. – 306 p.

120. Crowson R. Product design and factory development. – New York: CRC Press, 2006. – 405 p.

121. Bedworth D.D., Henderson M.R., Wolfe P.M. Computer-integrated design and manufacturing. – New York: McGraw-Hill, 1991. – 653 p.

122. Huang G.Q. Design for X: concurrent engineering imperatives. – New York: Springer, 1996. – 489 p.

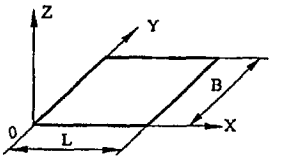
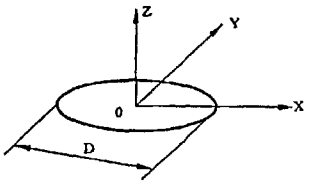
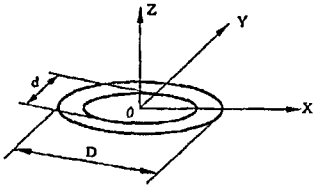
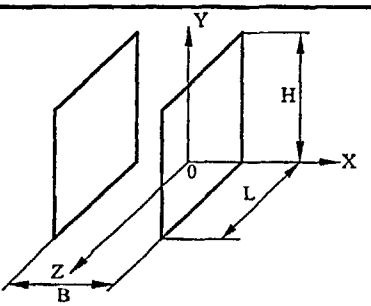
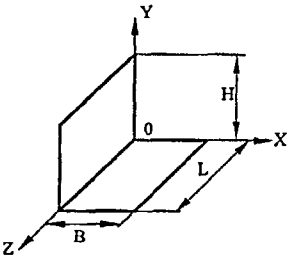
123. Backhouse C.J., Brookes N.J. Concurrent engineering: what's working where. – New York: Gower Publishing Ltd., 1996. – 248 p.

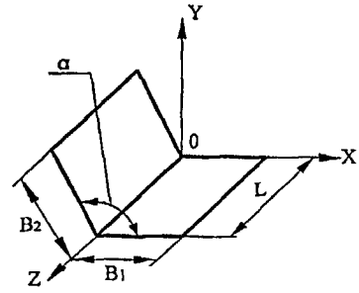
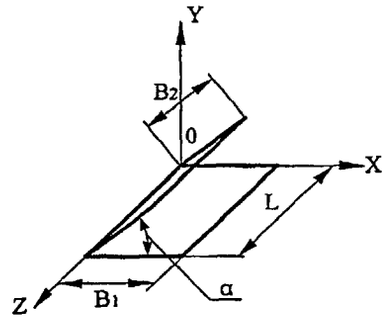
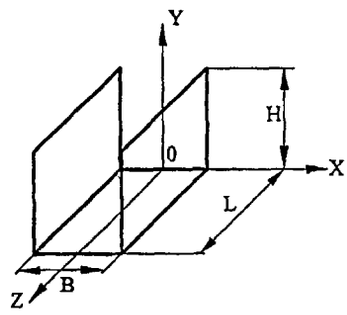
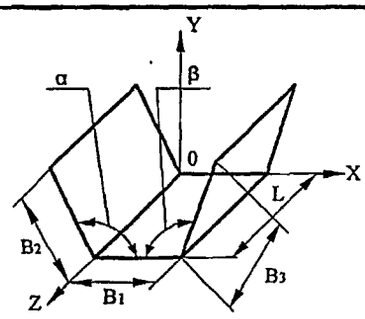
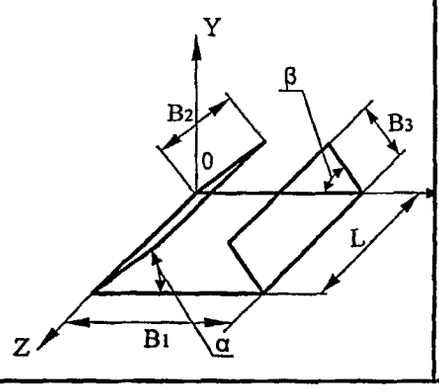
124. Kusiak A. Concurrent engineering. Automation, tools and techniques. – New York: Wiley-Interscience, 1993. – 453 p.

125. Leondes C.T. Computer aided design, engineering, and manufacturing: systems techniques and applications. – New York: CRC Press, 2001. – 360 p.

Приложение 1.

Каталог Т-комплексов

Идентификатор	Эскиз комплекса	Технологические методы	Тип производства
1	2	3	4
P11		Строгание Фрезерование торцевое Фрезерование цилиндрическое Протягивание Накатывание Шлифование (прямоугольный стол) Шлифование (круглый стол) Притирка Шабрение Полирование	Е, МС * * С С * С * С С
P12		Точение Фрезерование торцевое Цекование Шлифование (прямоугольный стол) Шлифование (круглый стол) Полирование	* * * * С С
P13			
P21		Фрезерование торцевое Фрезерование дисковое Протягивание Долбление	* * С С
P22		Строгание Фрезерование торцевое Фрезерование дисковое Протягивание Шлифование (прямоугольный стол)	С * * С *

1	2	3	4
Р23		Фрезерование торцевое Протягивание Шлифование (прямоугольный стол)	* С *
Р24		Фрезерование торцевое Протягивание	* С
Р31		Строгание Фрезерование цилиндрическое Фрезерование концевое Протягивание Шлифование (прямоугольный стол)	Е, МС * * С *
Р32		Строгание Фрезерование торцевое Протягивание Шлифование (прямоугольный стол)	Е, МС * С *
Р33		Фрезерование торцевое Протягивание Шлифование (прямоугольный стол)	* С *

1	2	3	4
CE	X, 0, D, Z, L	Точение Обкатывание Шлифование круглое Притирка Суперфиниширование Алмазное выглаживание Полирование Полирование абразивной лентой	* C * C C C C C
CEP11	X, L1, D, 0, d, Z, L	Точение Шлифование круглое Притирка Алмазное выглаживание Обкатывание Полирование	* * C C C C
CEP12	X, L1, R, D, 0, d, Z, L		
CI	X, 0, D, Z, L	Сверление Рассверливание Зенкерование Развертывание Протягивание Растачивание Шлифование внутреннее Хонингование Алмазное выглаживание Раскатывание Полирование Притирка	* * * * C * * C C C C C
CIP11	X, 2α, 0, D, Z, L	Сверление Рассверливание Зенкерование Растачивание Притирка Шлифование внутреннее	* * * * C *

1	2	3	4
CIP12	X, D, Z, 0, L	Зенкерование Растачивание Шлифование внутреннее Фрезерование (планетарное)	* * * C
CIP21	X, d1, d2, 0, D, Z, L	Растачивание Шлифование внутреннее	* *
CIP22	X, d1, d2, R1, R2, 0, D, Z, L		
CIP13	X, d1, 0, D, Z, L	Растачивание Зенкерование Развертывание Цекование Шлифование внутреннее	* * * * *
CIP14	X, d1, R, 0, D, Z, L		
CIP31	X, R, 0, Y, L2, L, L3, B, L1, H	Фрезерование концевое	*

1	2	3	4
CIP32	X R 0 Y L L3 B Z L1 H	Фрезерование концевое	*
CIP33	X R 0 Y L3 B L1 H	Фрезерование концевое	*
CIP23	X L2 Y R L1 H B Z	Фрезерование дисковое	*
KE1	X α D 0 Z a	Точение Шлифование круглое Полирование Притирка Суперфиниширование	* * C C C
KE2	X D2 0 D1 Z L	Точение Шлифование круглое Полирование Притирка Обкатывание Суперфиниширование	* * C C C C
CEK1	X α D 0 d Z L1 a L	Точение Шлифование круглое Притирка Полирование Обкатывание	* * C C C

1	2	3	4
CEK2	X α D1 0 d D2 Z L1 a L b	Точение Шлифование круглое Полирование	* * C
CEKP	X α D1 0 d D2 Z L1 a L	Точение Шлифование круглое Полирование	* * C
CEP21	X L1 D1 0 D2 d Z L	Точение Шлифование круглое Полирование	* * C
CER22	X L1 R1 R2 D1 0 D2 d Z L	Точение Шлифование круглое Полирование	* * C
KI1	X α D 0 Z a	Сверление Зенкерование Растачивание Шлифование внутреннее Полирование	* * * * C
CEIP	X H d1 d2 0 Z	Растачивание Фрезерование (планетарное)	* *

1	2	3	4
TE1	X R d 0 Z L1 a	Точение Шлифование круглое Полирование Суперфиниширование Притирка	* * C C C
TE2	X d D 0 Z L1 a	Точение Шлифование круглое Полирование Суперфиниширование Притирка	* * C C C
SE1	X R d 0 Z L1 a	Точение Шлифование круглое Полирование Суперфиниширование Притирка	* * C C C
SE2	X R d 0 Z L1 a	Точение Шлифование круглое Полирование Суперфиниширование Притирка	* * C C C
REM1	X M 0 Z L	Точение Резьбонарезание Резьбошлифование	* * C
RIM1	X M 0 Z L	Сверление Зенкерование Развертывание Растачивание Резьбонарезание Резьбошлифование	* * * * * C

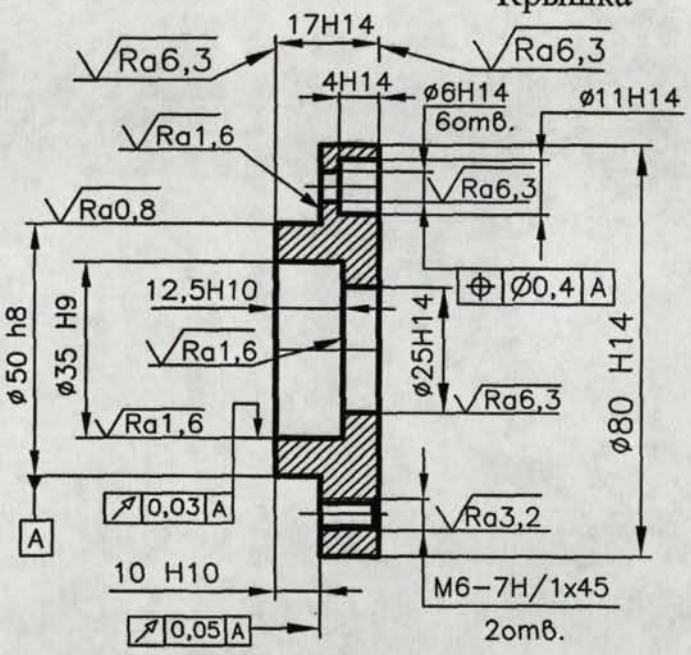
1	2	3	4
KI2	X, D2, 0, D1, Z, L	Сверление Рассверливание Зенкерование Развертывание Растачивание Шлифование внутреннее Притирка	* * * * * * C
CIK11	X, α, 2α, D1, D2, Z, 0, a, L	Сверление Зенкование	C C
CIK21	X, 2α, D1, D2, Z, 0, b, a, L	Сверление Зенкование	C C
CIK22	X, α, β, 0, d, Z, L1, a, L, b, L2	Растачивание Шлифование внутреннее	* *
CIK12	X, β, 0, d, Z, L1, a, L	Сверление Рассверливание Зенкерование Развертывание Растачивание Шлифование внутреннее Притирка	* * * * * * C

1	2	3	4
CERK1	X R β D1 0 d D2 Z L b	Точение Шлифование круглое Полирование	* * C
CES	X R d D 0 Z L1 a	Точение Шлифование круглое Полирование	* * C

Приложение 2.

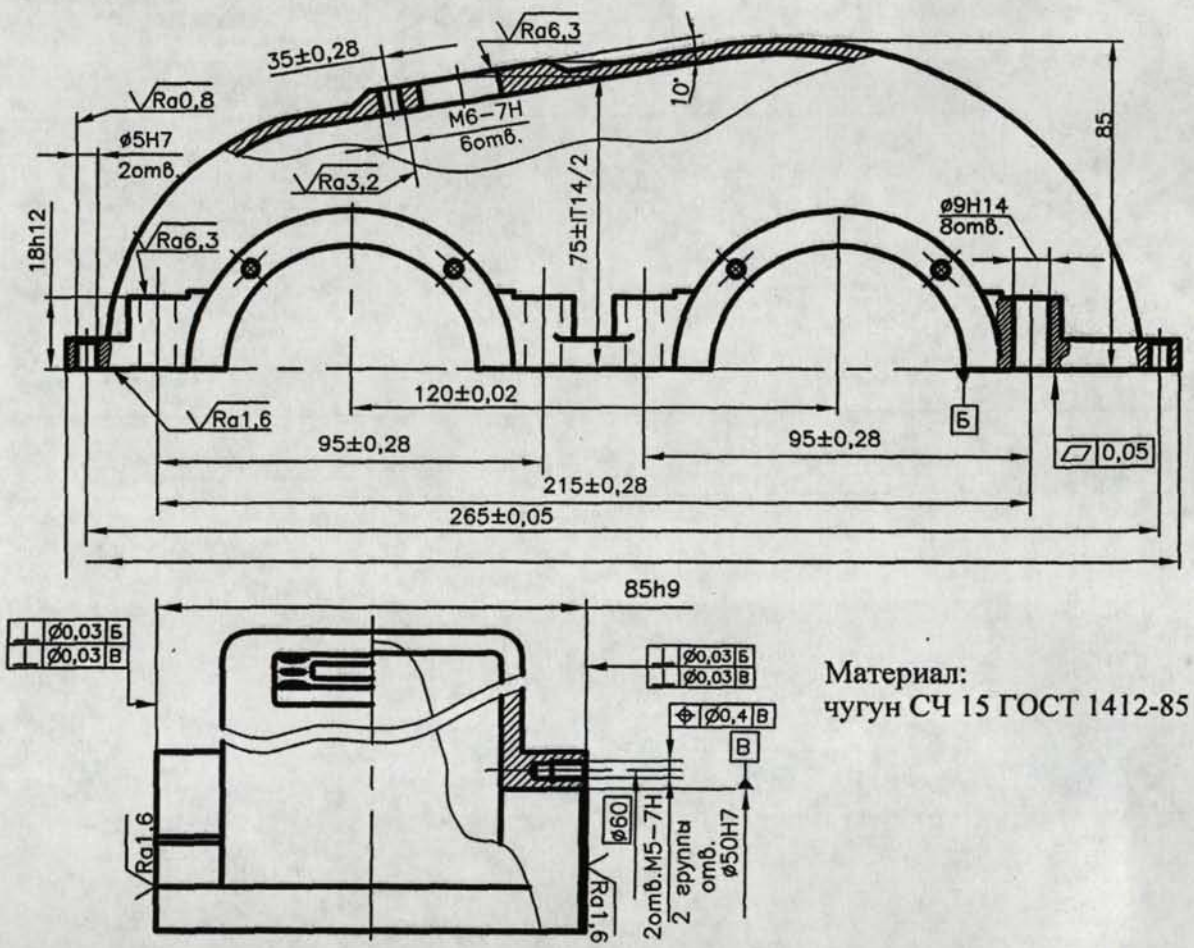
Эскизы деталей, выбранных для оценивания подобия технологических моделей

Крышка



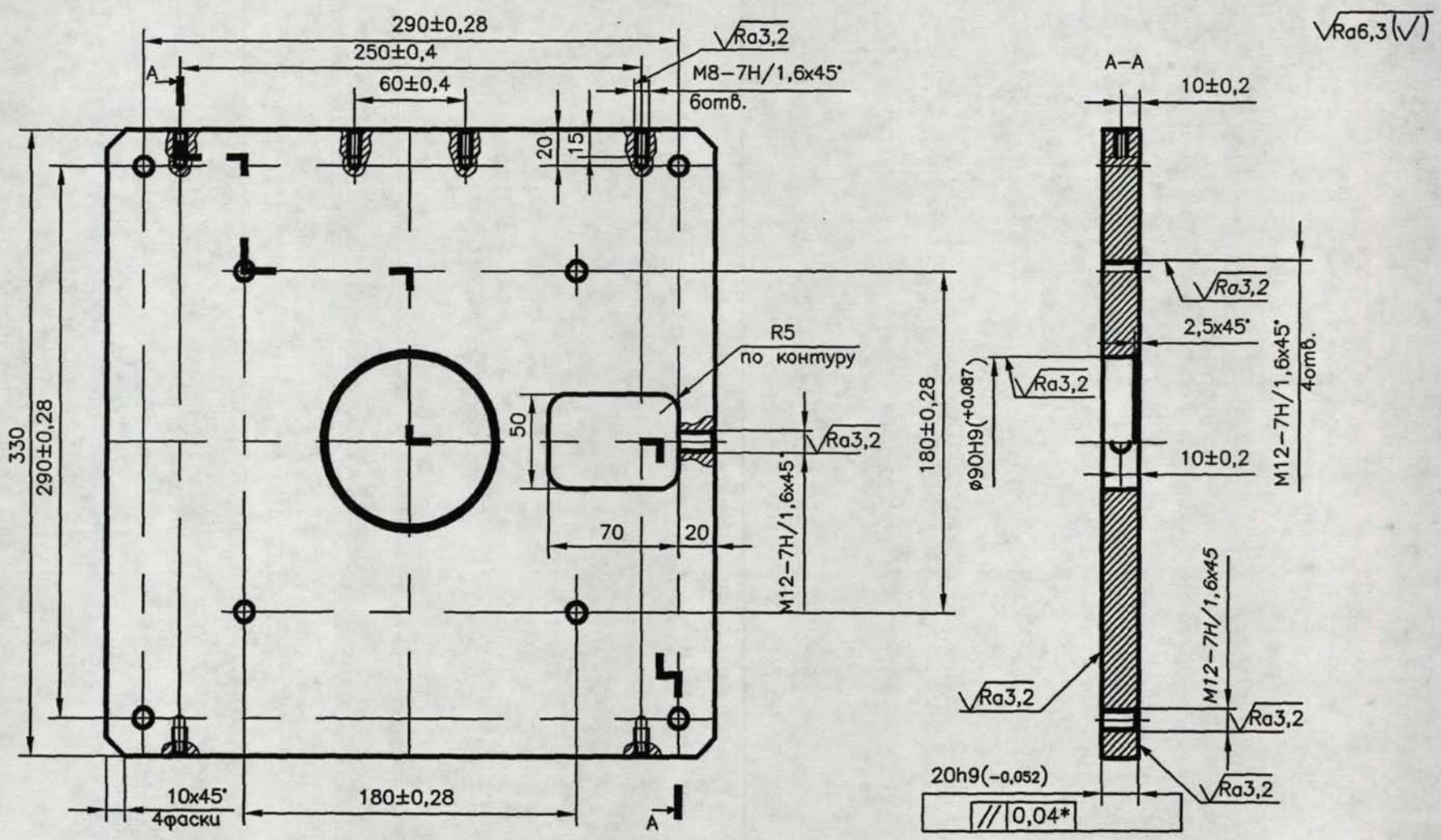
Материал:
Сталь 45 ГОСТ 1050-88

Крышка редуктора



Материал:
чугун СЧ 15 ГОСТ 1412-85

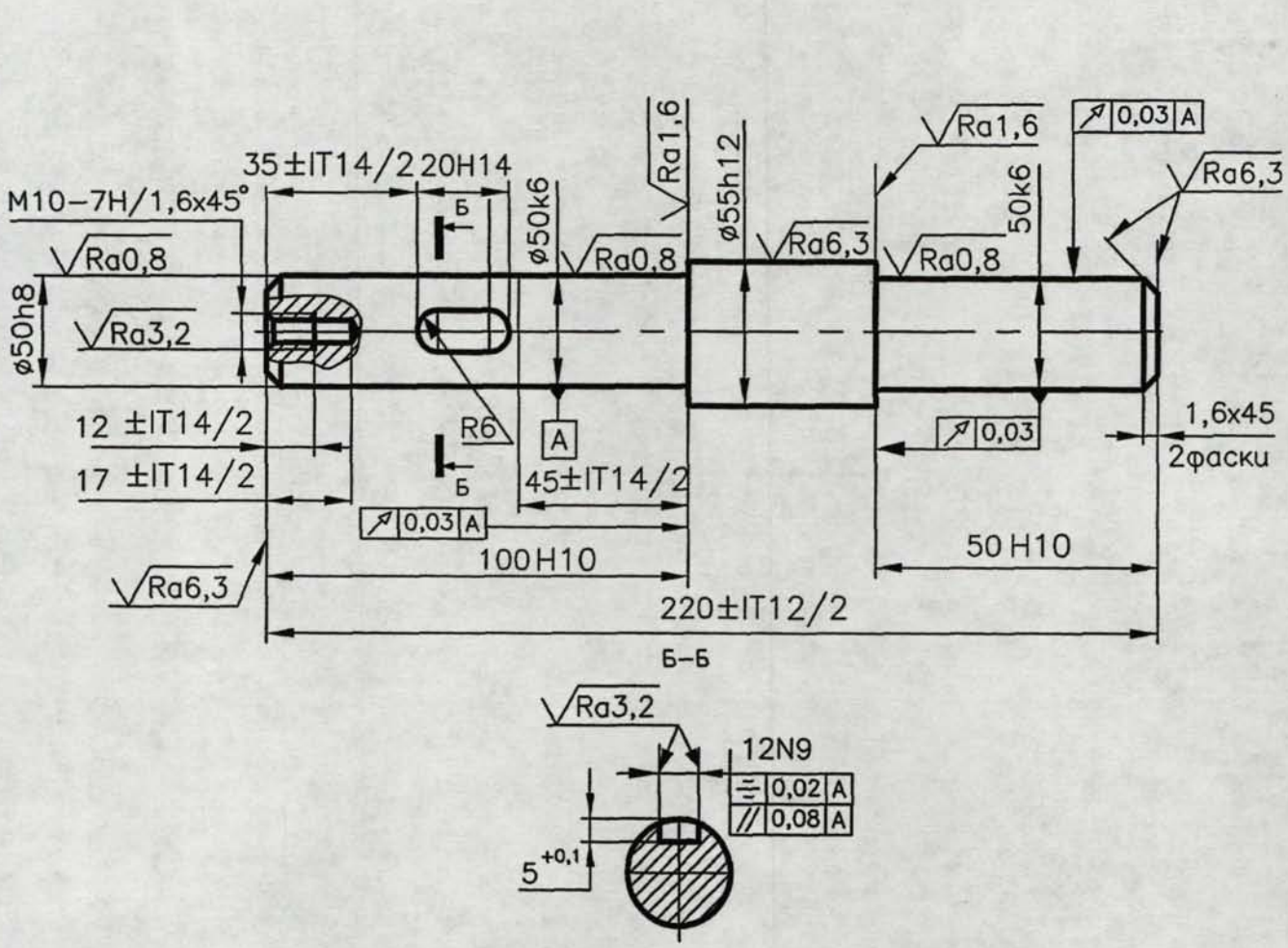
Плита



1.H14; h14; ±IT14/2.
2.Покрытие–эмаль MIRANOL RAL 5019 Tikkurila, кроме внутренних поверхностей. Максимальная толщина покрытия – 10мкм.
3. *Обеспечить до нанесения покрытия.

Материал:
Сталь 45 ГОСТ 1050–88

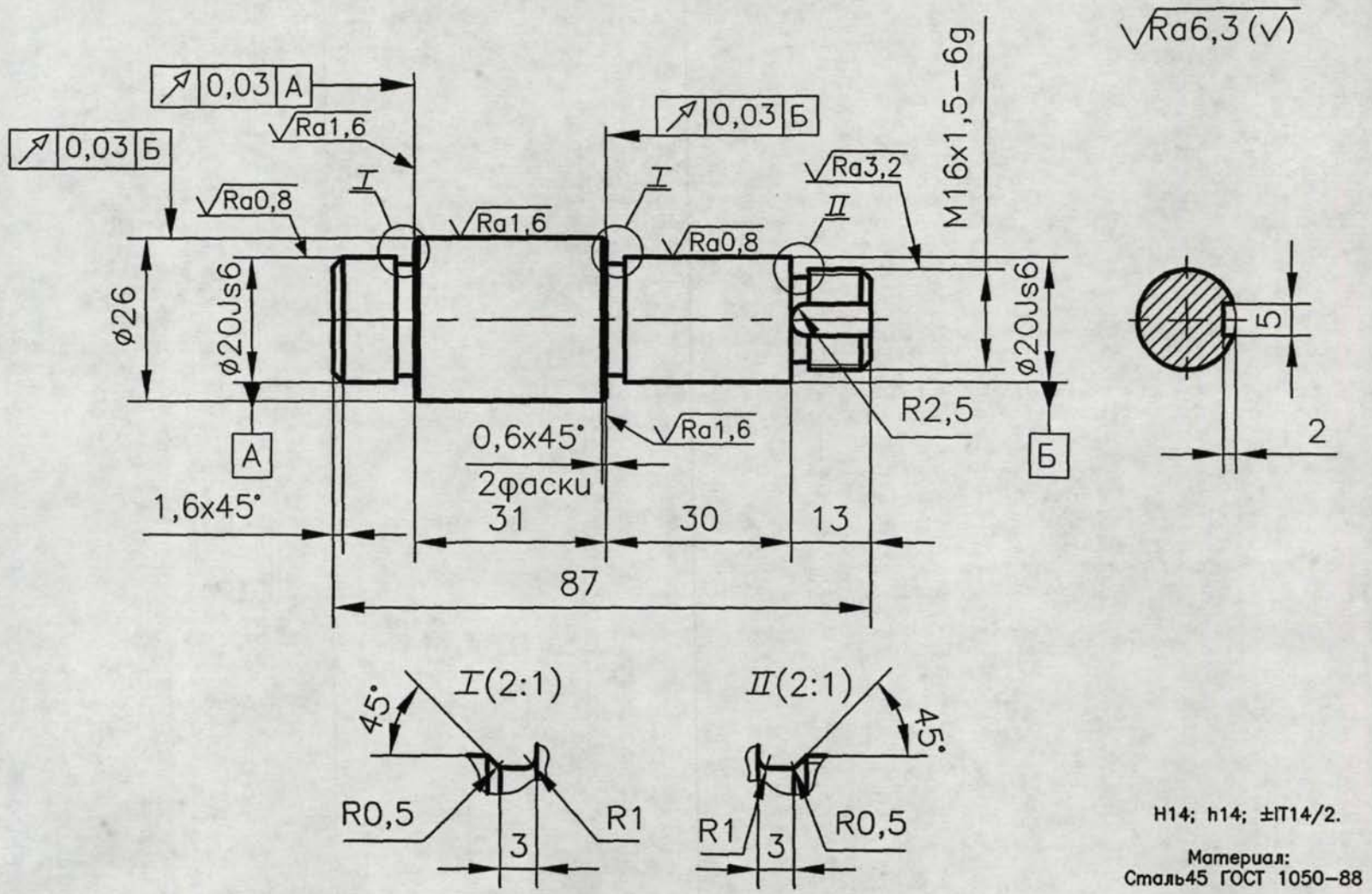
Вал



1. Покрытие – Хим. Окс. прм.
2. HB 190...220.

Материал:
Сталь 40Х ГОСТ 4543–88

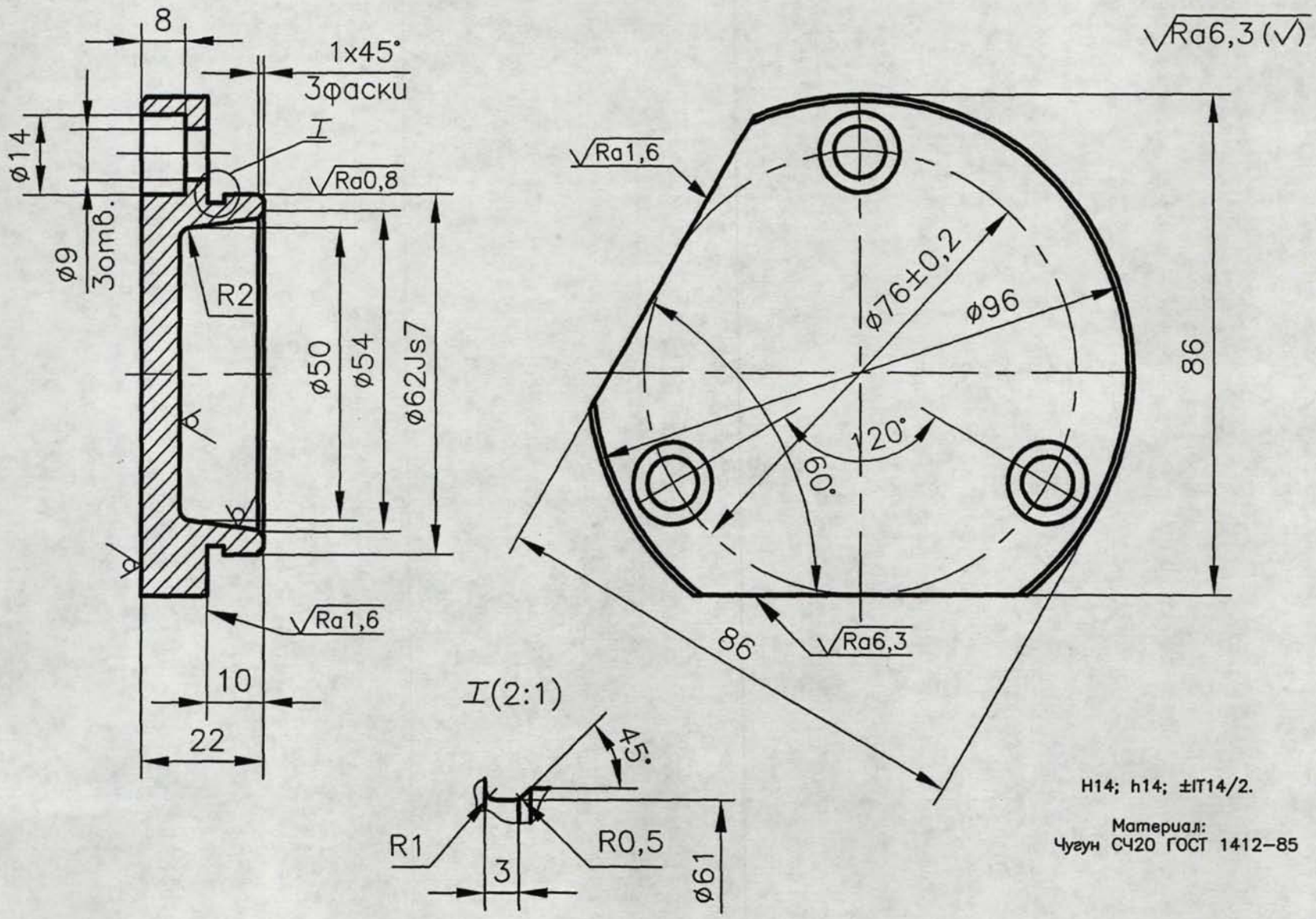
Вал



H14; h14; ±IT14/2.

Материал:
Сталь45 ГОСТ 1050–88

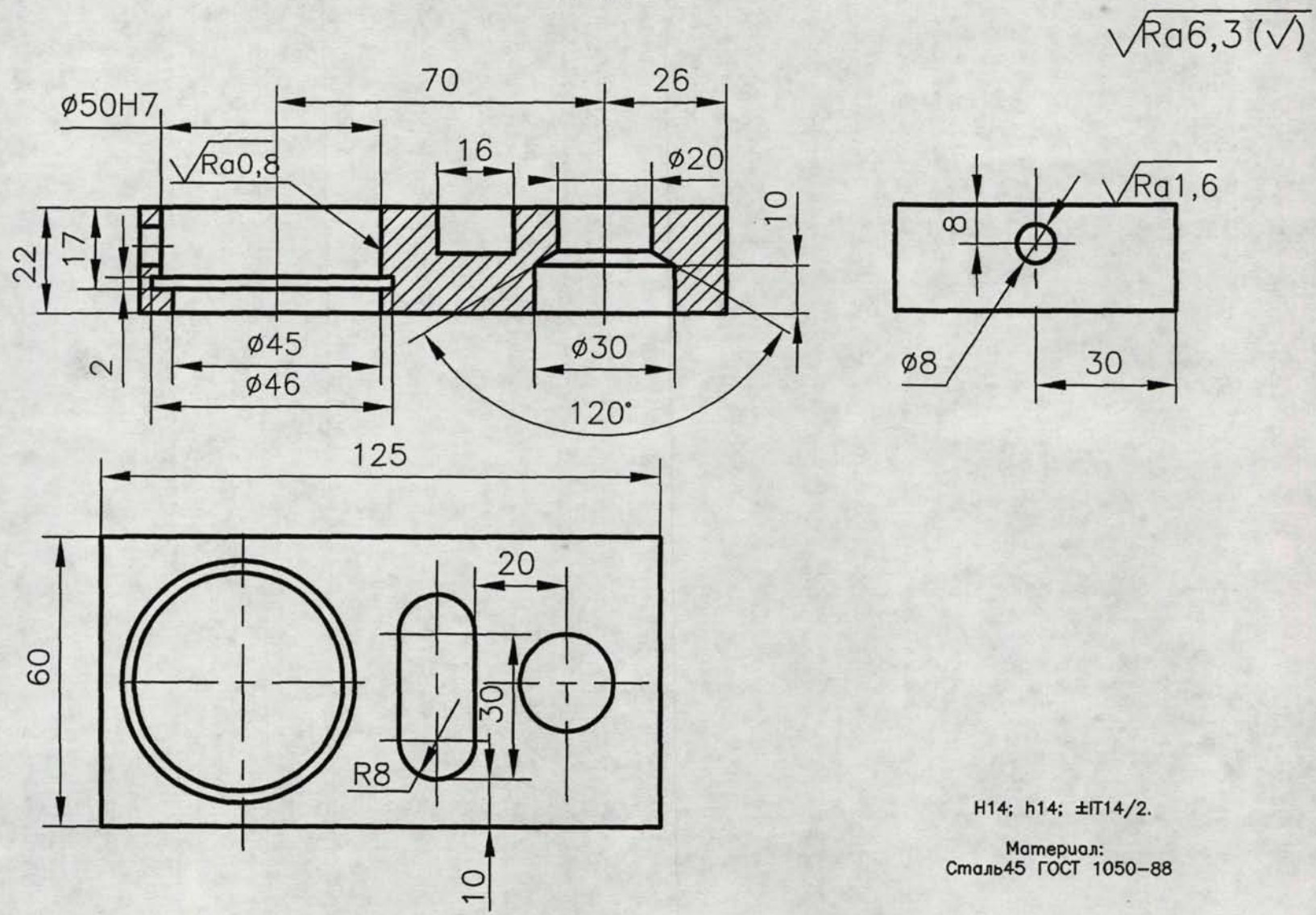
Фланец



H14; h14; ±IT14/2.

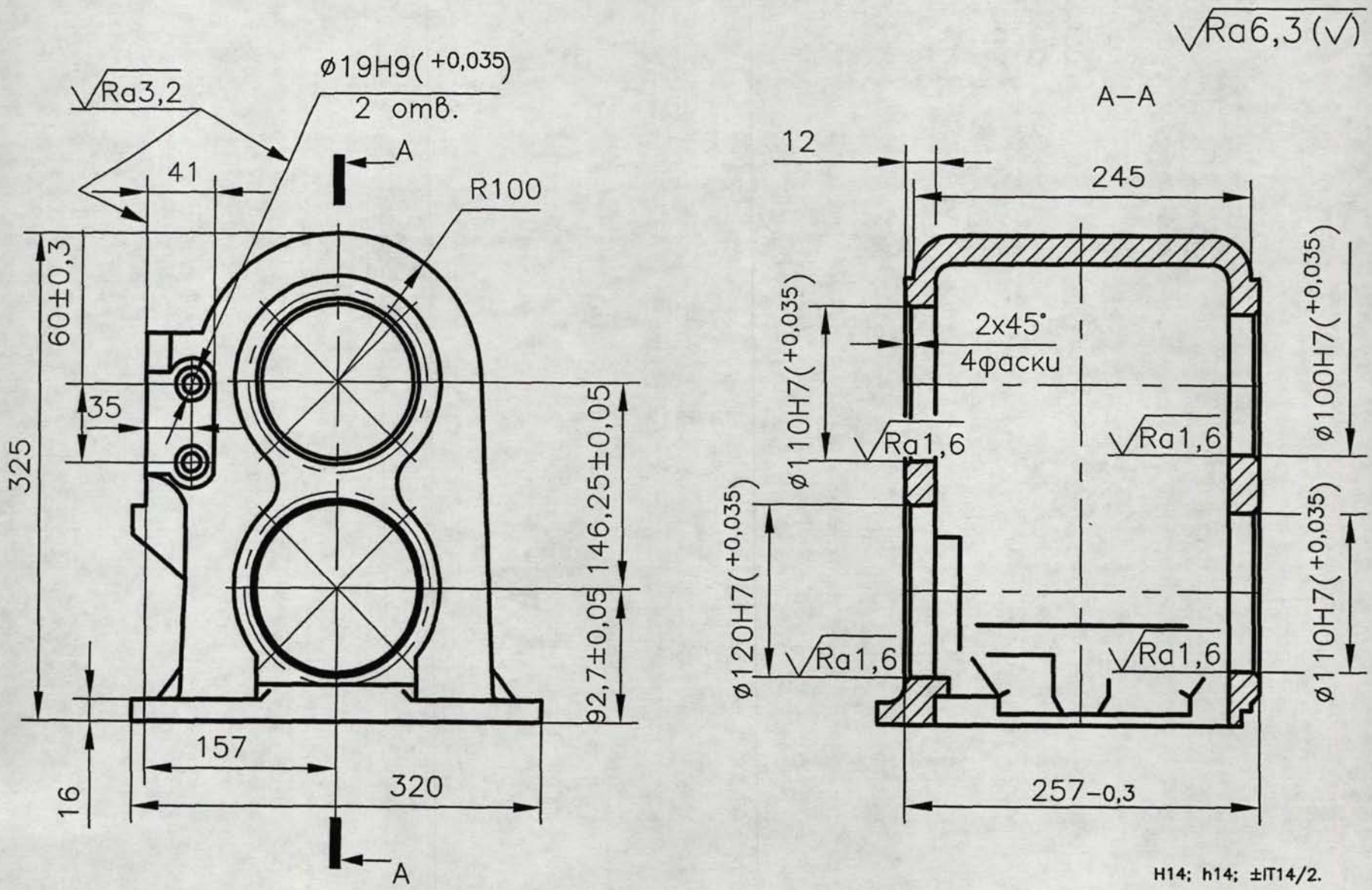
Материал:
Чугун СЧ20 ГОСТ 1412–85

Планка



H14; h14; ±IT14/2.

Материал:
Сталь45 ГОСТ 1050–88



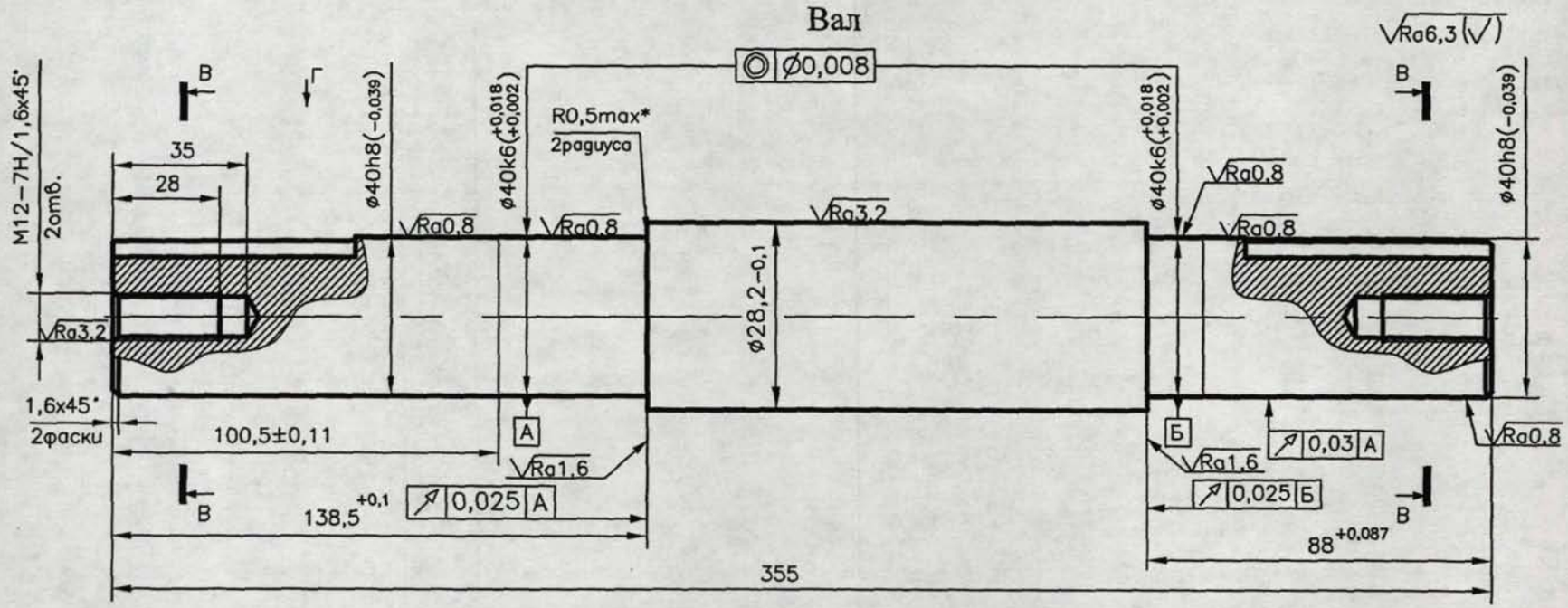
H14; h14; ±IT14/2.

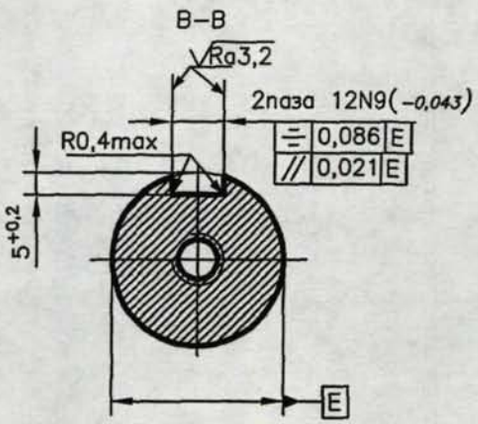
Материал:
Чугун СЧ20 ГОСТ 1412–85

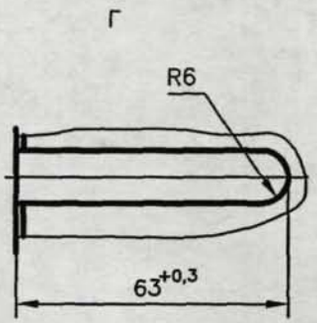
Приложение 3.

Конструкции некоторых тестовых деталей и данные длительности разработки

Вал



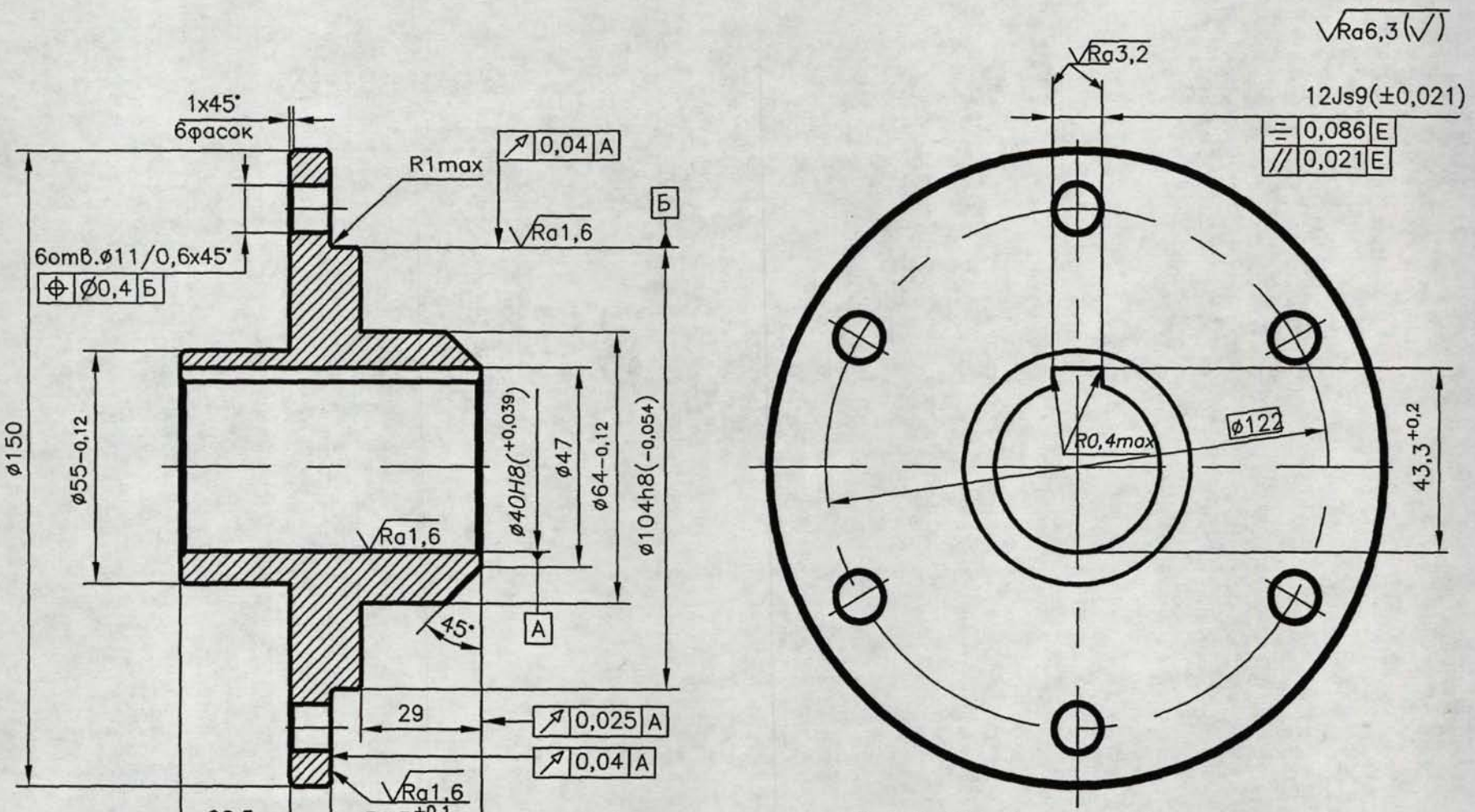




1. HRC 34...42 (закалка в масле; отпуск).
2. Неуказанные предельные отклонения размеров: валов – h14; отверстий – H14; остальных – ±IT14/2.
3. Покрытие – Хим.окс.прм.

Материал:
Сталь 40Х ГОСТ 4543–88

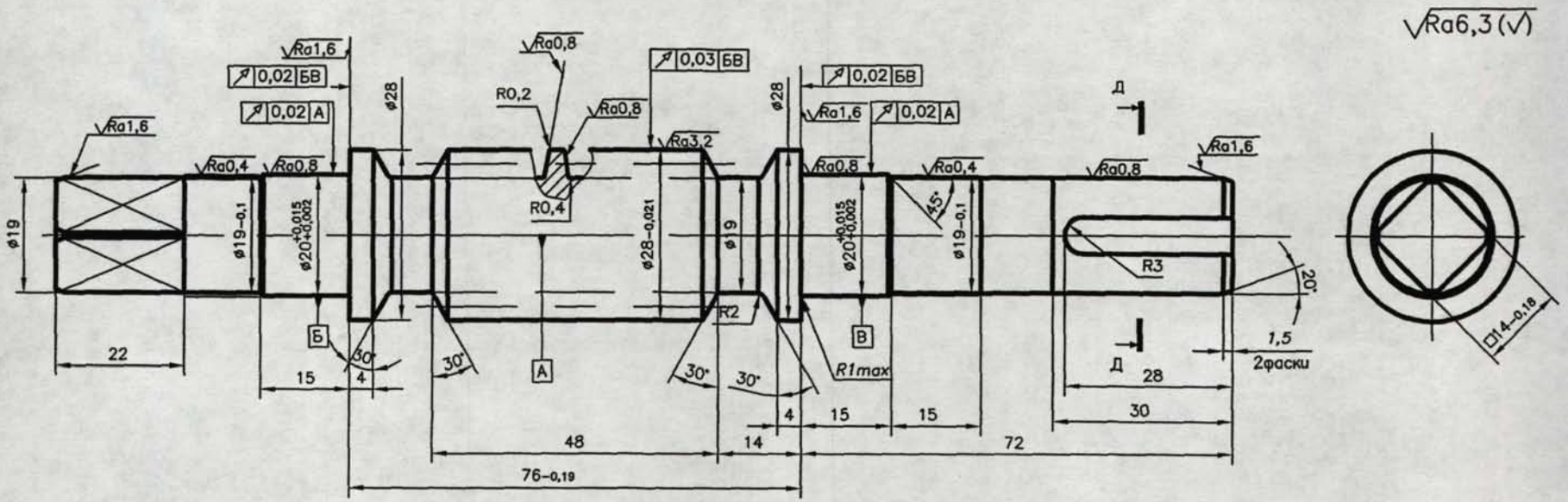
Ступица

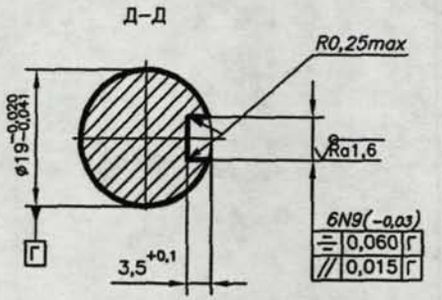


1. HB 192...285. (закалка и высокий отпуск).
2. H14; h14; ±IT14/2.
3. Покрытие – Хим. Окс. прм.

Материал:
Сталь 45 ГОСТ 1050–88

Червяк

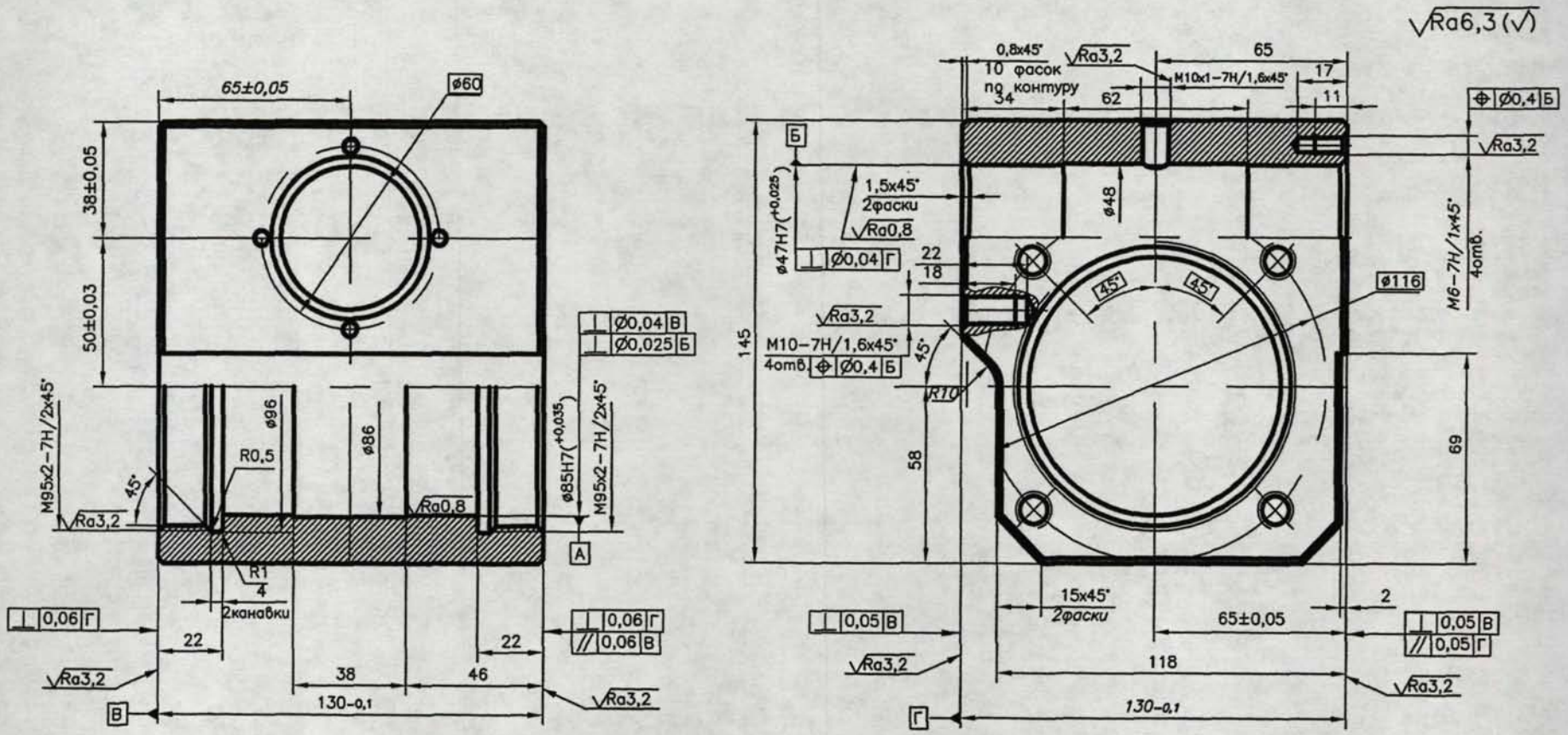




1. Толщина начала первой нитки должна быть не менее 1,5 мм.
2. Витки червяка: Т.В.Ч. h 1,8...2,2 мм, HRC 50...54.
3. h14, ±IT14/2.

Материал:
Сталь40Х ГОСТ 4543–71

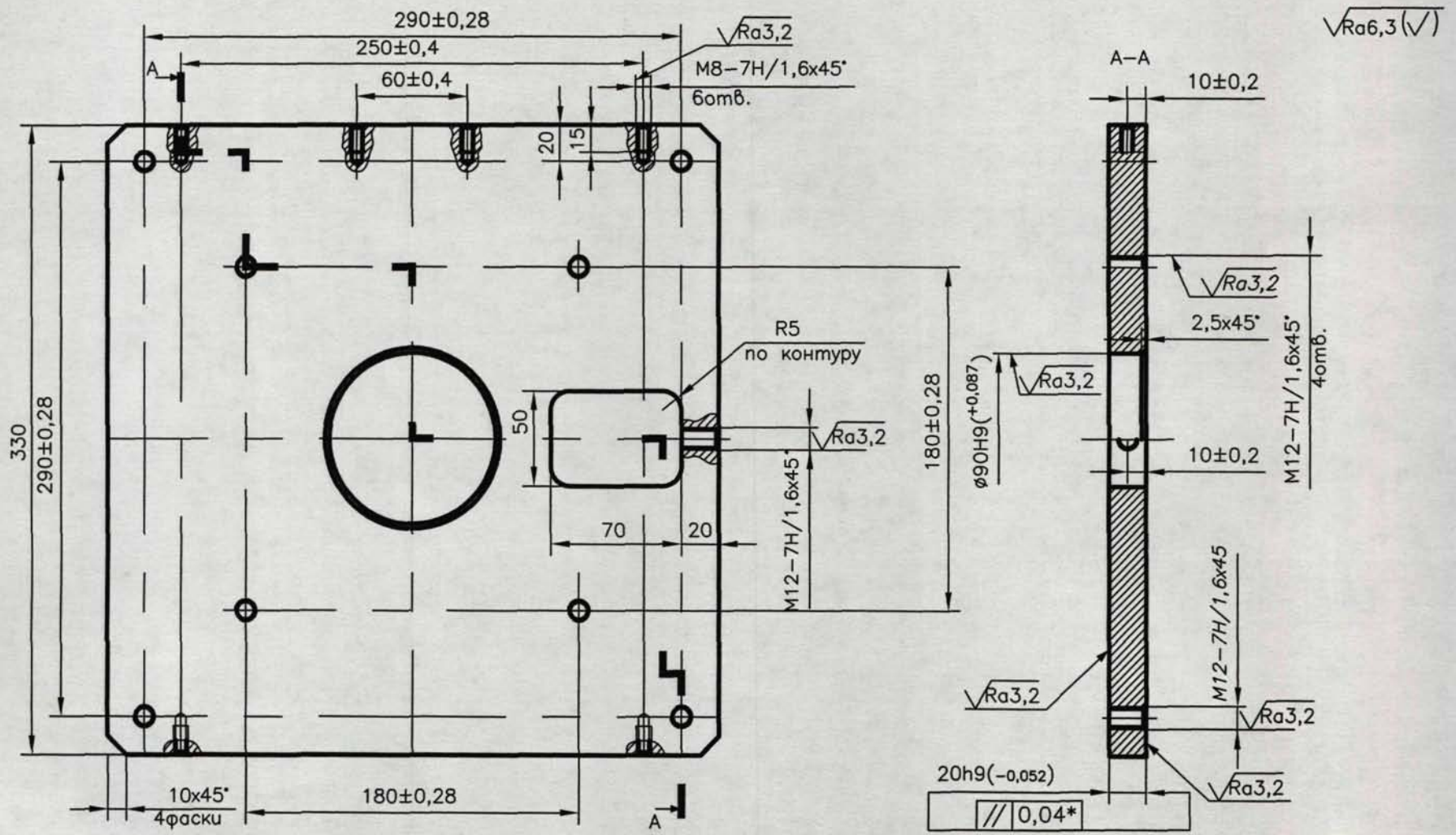
Корпус



H14; h14; ±IT14/2.

Материал:
Сталь20 ГОСТ 1050-88

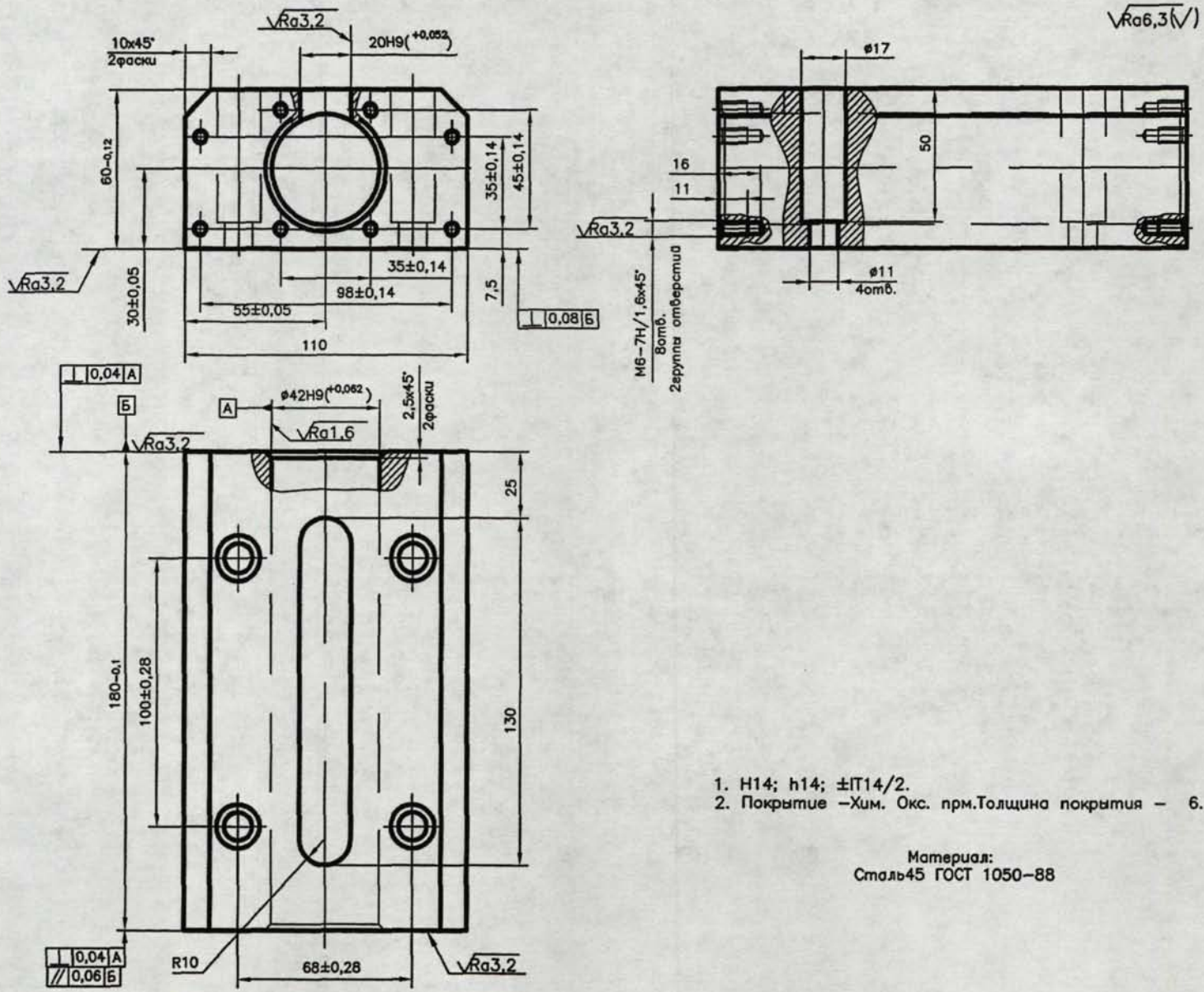
Плита



1.H14; h14; ±IT14/2.
2.Покрытие–эмаль MIRANOL RAL 5019 Tikkurila, кроме внутренних поверхностей. Максимальная толщина покрытия – 10мкм.
3. *Обеспечить до нанесения покрытия.

Материал:
Сталь 45 ГОСТ 1050–88

Корпус



1. H14; h14; ±IT14/2.
2. Покрытие –Хим. Окс. прм.Толщина покрытия – 6..9 мкм.

Материал:
Сталь45 ГОСТ 1050–88

Таблица 20.

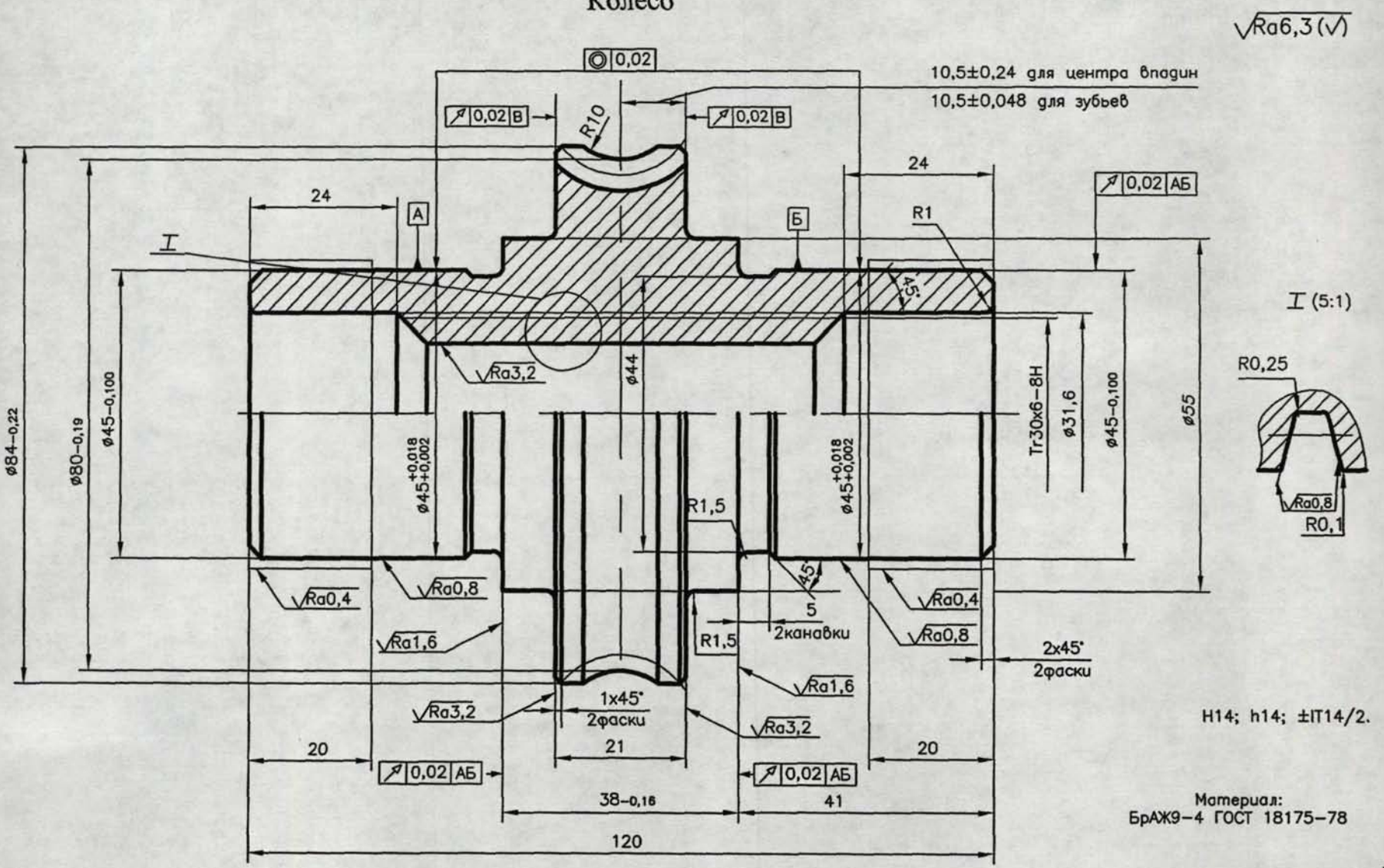
Данные длительности разработки тестовых деталей

Наименование детали	Длительность разработки, час.										
	Последовательной			Совмещенной							
	Конструкции	МТП	Суммарная	ППД	КМД	КАМД	ТМ ППД	ТМ КМД	ТМ КАМД	МТП	Суммарная
Ось	0,45	1,75	2,2	0,28	0,19	0,09	0,20	0,70	0,68	0,32	2,10
Винт ходовой	1,06	3,08	4,14	0,43	0,44	0,18	0,33	1,67	1,22	0,28	3,05
Шайба	0,59	1,6	2,19	0,15	0,33	0,15	0,25	0,56	0,64	0,23	1,95
Вал	1,38	3,0	4,38	0,55	0,29	0,27	0,25	1,12	1,36	0,30	3,60
Ступица	0,93	3,45	4,38	0,45	0,38	0,23	0,30	0,94	1,33	0,34	3,40
Ниппель	0,67	1,75	2,42	0,27	0,33	0,07	0,31	0,6	0,57	0,08	1,85
Шкив	1,86	3,18	5,04	0,30	0,86	0,47	0,23	1,80	1,10	0,33	4,15
Червяк	2,2	4,0	6,2	0,8	0,6	0,8	0,24	1,40	1,30	0,58	4,75
Плита	1,33	2,08	3,41	0,46	0,32	0,37	0,22	0,5	0,8	0,4	2,45
Плита	0,82	1,33	2,15	0,33	0,16	0,25	0,25	0,46	0,55	0,27	1,87
Корпус	2,47	4,13	6,6	0,78	0,88	0,55	0,42	1,28	1,52	0,30	4,83
Тройник	0,68	1,05	1,73	0,33	0,26	0,20	0,15	0,38	0,40	0,20	1,52
Корпус	1,03	2,00	3,03	0,48	0,33	0,40	0,28	0,61	0,80	0,22	2,40
Стойка	0,68	1,48	2,16	0,37	0,19	0,23	0,18	0,35	0,51	0,20	1,60

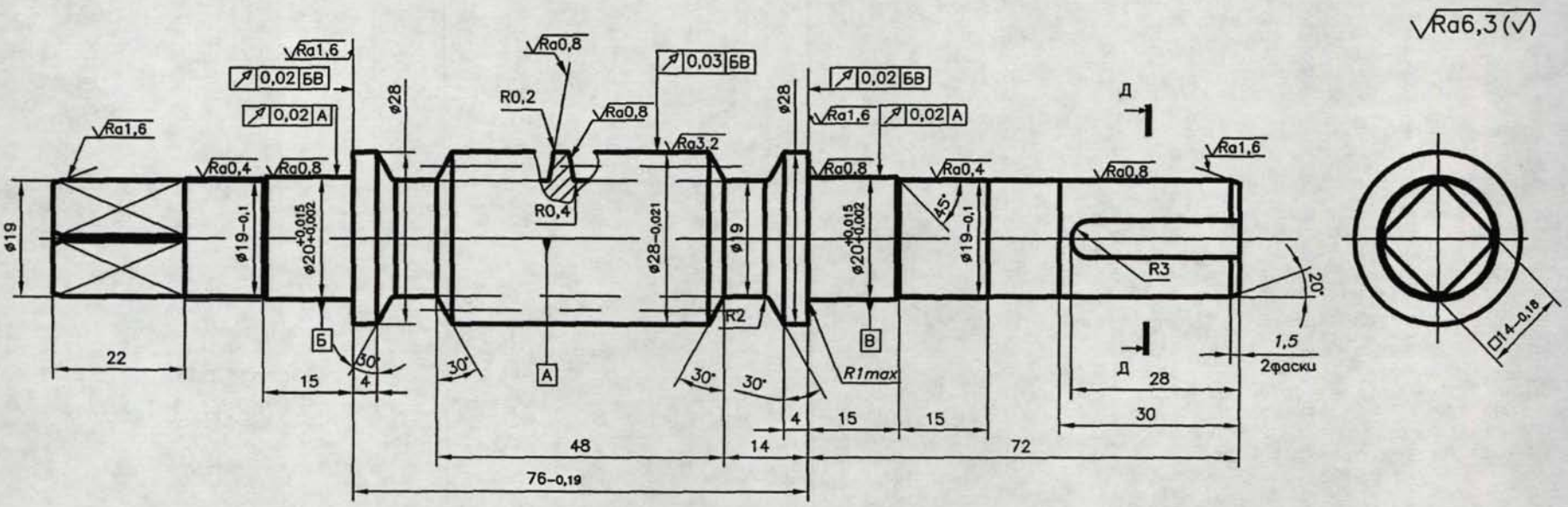
Приложение 4.

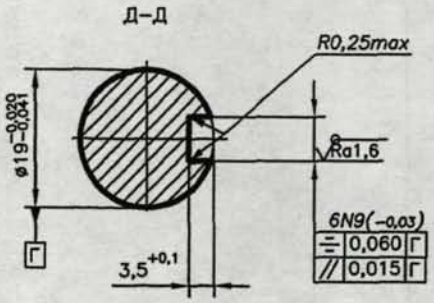
Конструкции некоторых деталей "червячного мотор-редуктора"

Колесо



Червяк

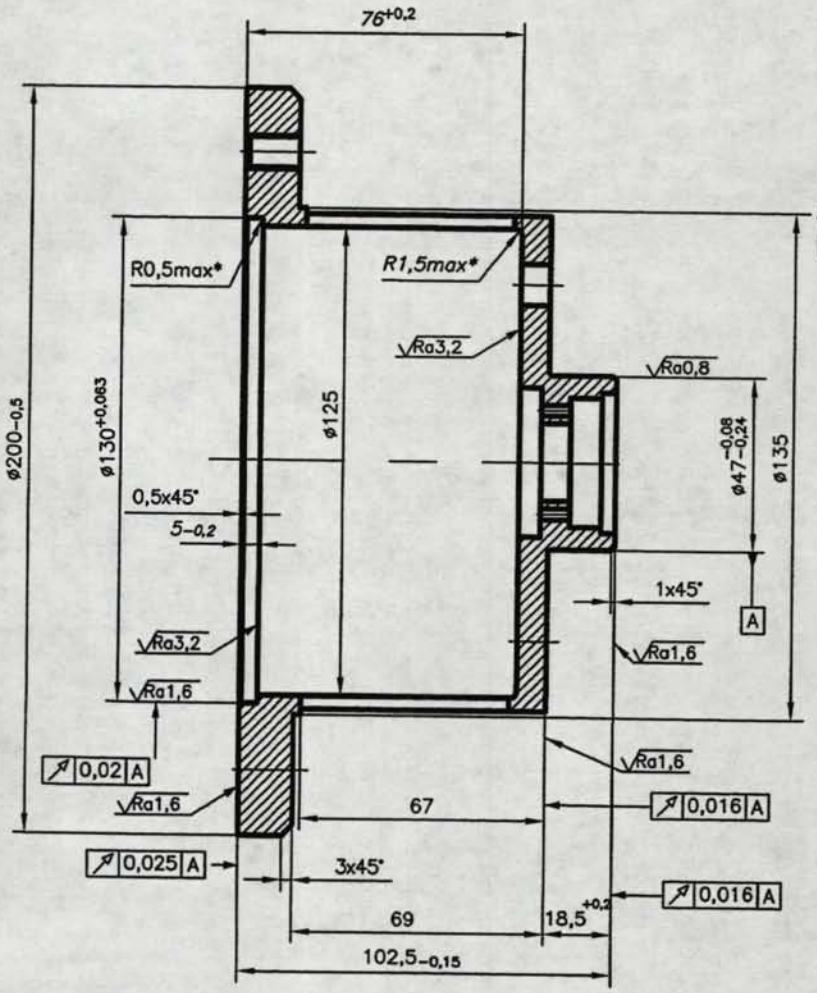


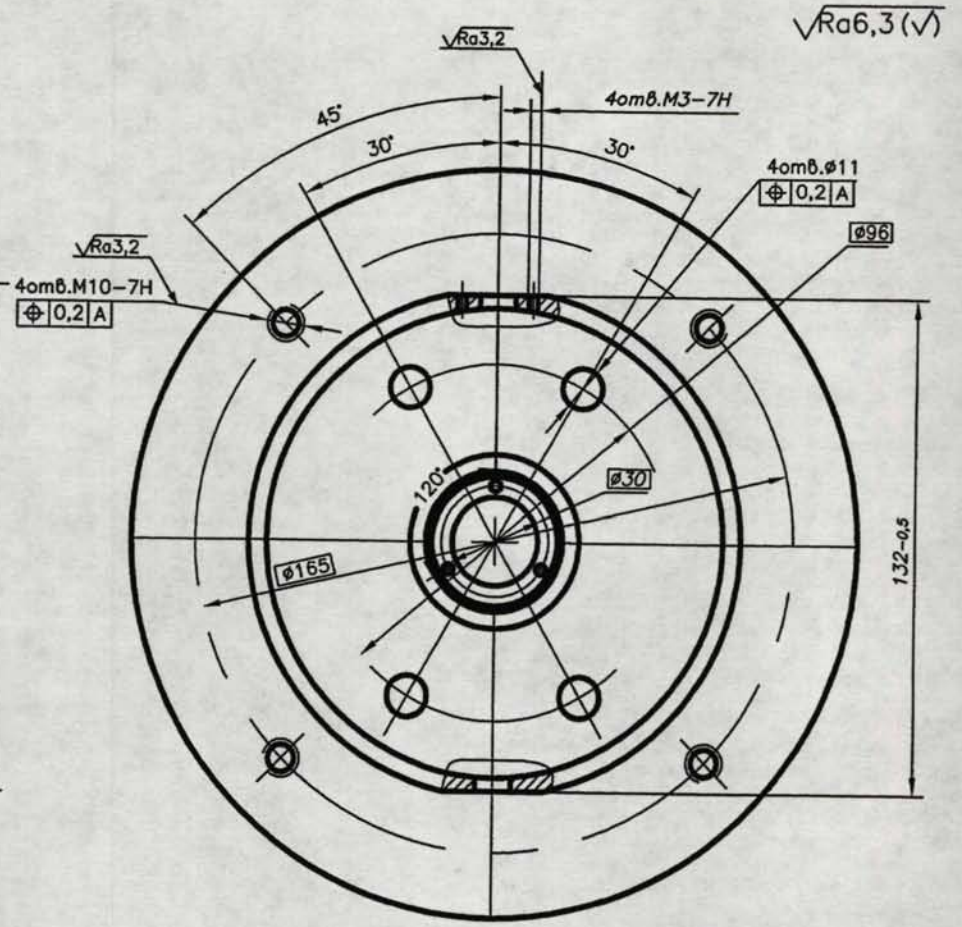


1. Толщина начала первой нитки должна быть не менее 1,5 мм.
2. Витки червяка: Т.В.Ч. h 1,8...2,2 мм, HRC 50...54.
3. h14, ±IT14/2.

Материал:
Сталь40Х ГОСТ 4543–71

Стакан





1. *Размеры обеспечить инструментом.
2. H14; h14; ±IT14/2.
3. Покрытие – Хим. Окс. прм.

Материал:
Сталь45 ГОСТ 1050-88

Приложение 5.

Акт внедрения методики совмещенной разработки

"УТВЕРЖДАЮ"

Главный инженер

ФГУП МЗЭМА

Савоев П.Л.

«10» марта 2009 г.

АКТ

составлен между ФГУП Московский завод электромеханической аппаратуры (МЗЭМА) в лице главного технолога БАРДАДЫМА В.А. и МГТУ им.Н.Э.Баумана в лице аспиранта кафедры «Технология машиностроения» Мешкова Р.Б. в том, что практические рекомендации по сокращению сроков технической подготовки деталей при совмещённом конструкторско-технологическом проектировании приняты к внедрению на предприятии ФГУП МЗЭМА. Переданная методика совмещённого конструкторско-технологического проектирования в перспективе будет использована при автоматизации технической подготовки деталей выпускаемых предприятием изделий.

Главный технолог Бардадым В.А.

Аспирант кафедры

«Технология машиностроения»

МГТУ им. Н.Э.Баумана Мешков Р.Б.