

ДЛЯ ТЕХНИКУМОВ

А.Л. Дерябин

ПРОГРАММИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ДЛЯ СТАНКОВ С ЧПУ

Допущено Министерством станкостроительной
и инструментальной промышленности в качестве
учебного пособия для машиностроительных
техникумов



МОСКВА
« МАШИНОСТРОЕНИЕ »
1984

Принципиальная особенность станка с ЧПУ заключается в том, что движение инструмента относительно обрабатываемой заготовки задается последовательностью положений и скоростями перемещений его рабочих органов, записываемых в числовой форме на специальном программноносителе. Отсюда и название — числовое программное управление.

Одно из главных условий рационального использования станков с ЧПУ в промышленности — обеспечение высокого качества программ при минимальных затратах труда и времени на их изготовление. Это условие связано с новыми принципами организации производства. Появилась новая специальность — технолог-программист, которая требует знаний технологии обработки и вычислительной техники. На предприятиях сформировались бюро программного управления (БПУ) для технологического обеспечения станков с ЧПУ. В помощь заводским бюро в масштабах страны созданы кустовые центры подготовки программ (КЦПП), оснащенные современными средствами вычислительной техники.

Программирование технологических процессов для станков с ЧПУ — качественно новый этап, при котором выполняется значительная часть работы, перенесенная из сферы непосредственного производства в область его технологической подготовки. Так, действия квалифицированного рабочего, обрабатывающего заготовку на обычном станке, заменяются на станке с ЧПУ обработкой по управляющей программе (УП), содержащей подробную информацию о последовательности и характере функционирования его исполнительных механизмов. Требования к квалификации оператора станка снижаются, так как задачи формообразования теперь решает технолог-программист в процессе подготовки УП.

При подготовке УП перерабатывается большой объем технологической информации. В расчетах должны учитываться требования к обрабатываемым поверхностям, конфигурация и материал заготовки, технологические возможности станка и особенности системы ЧПУ, параметры инструмента и крепежных приспособлений. Наиболее полно и эффективно учитывать эти факторы удается только при автоматизированной подготовке УП на электронно-вычислительной машине (ЭВМ).

Методы и организация подготовки УП на предприятиях зависят от доступа к ЭВМ, наличия и совершенства специального программно-математического обеспечения (ПМО), типизации технологических процессов и серийности изделий. Развитие и широкое распространение в промышленности вычислительной техники (ВТ), применение ЭВМ для управления участками станков и создание автоматизированных рабочих мест, позволяющих технолог-программисту проводить расчеты в режиме диалога с ЭВМ, создают предпосылки для полного перехода на автоматизированную подготовку УП для станков с ЧПУ.

Подготовка УП является одной из составных частей производственного процесса изготовления деталей на станке с ЧПУ. В технических условиях подготовки УП сформулированы задачи, решаемые на различных этапах этого процесса, определен состав технологической документации и рассмотрены применяемые станки с ЧПУ и изготавливаемые на них детали.

1.1. ЭТАПЫ ПОДГОТОВКИ УП

Подготовка УП проводится по этапам, на которых могут применяться различные методы решения задач и средства ВТ.

Согласно ГОСТ 20523—80 управляющая программа — совокупность команд на языке программирования, соответствующая заданному алгоритму функционирования станка по обработке конкретной заготовки. Она содержит информацию о величинах и скоростях перемещений режущего инструмента относительно обрабатываемой заготовки, указания об изменении частоты вращения шпинделя, смене инструмента, коррекции, подаче охлаждающей жидкости и другие команды исполнительным механизмам станка. Эта информация записывается на программноносителе в кодах конкретного устройства числового программного управления (УЧПУ) в последовательности, соответствующей принятому технологическому процессу обработки.

Вместе с УП на программноносителе готовится сопроводительная документация, которая содержит информацию, необходимую для контроля и редактирования УП, подготовки станка с ЧПУ к работе по УП и нормирования. Состав и формы сопроводительной документации определяются производственными условиями эксплуатации станков с ЧПУ и зависят от методов подготовки УП.

Структура технологического процесса

Обработка заготовок на станках с ЧПУ производится в основном резанием и электрофизическими методами. Под обработкой понимается заданное изменение формы, размеров, шероховатости поверхностей или свойств заготовки. В частности, обработка резанием заключается в образовании новых поверхностей путем деформирования и последующего отделения поверхностных слоев материала с образованием стружки, а электрофизическая обработка — путем использования электрических разрядов, магнитострикционного эф-

фекта, электронного или оптического излучения, а также плазменной струи.

Технологический процесс обработки на станке с ЧПУ в отличие от традиционного технологического процесса требует большей детализации при решении технологических задач и учета специфики представления информации. Структурно технологический процесс делится на операции, элементами которых являются установовы, позиции, технологический и вспомогательный переходы, проходы, рабочие и вспомогательные ходы, шаги, элементарные перемещения и технологические команды.

Технологическая операция представляет собой законченную часть технологического процесса, выполняемую на одном рабочем месте. Установ является частью технологической операции, выполняемой при неизменном закреплении обрабатываемых заготовок. Фиксированное положение, занимаемое заготовкой относительно инструмента для выполнения определенной части операции, называется позицией. Технологический и вспомогательный переходы являются законченными частями технологической операции. Технологический переход характеризуется постоянством применяемого инструмента и поверхностей, образуемых обработкой. Вспомогательный переход подготавливает условия для выполнения технологического перехода. Он состоит из действий, которые не сопровождаются изменением формы, размеров и шероховатости поверхностей, но необходимы для выполнения технологического перехода. Примерами вспомогательных переходов являются установка заготовки, смена инструмента и т. п. Технологические переходы выполняются за один или несколько проходов, в результате каждого прохода удаляется слой материала. Проход состоит из рабочего и вспомогательного ходов. Рабочим ходом называется законченная часть технологического перехода, состоящая из однократного перемещения инструмента относительно заготовки, сопровождаемого обработкой. Вспомогательный ход необходим для выполнения рабочего хода и в отличие от него не сопровождается обработкой заготовки.

Дальнейшая детализация технологического процесса для оборудования с ЧПУ приводит к разделению ходов на шаги, каждый из шагов представляет собой перемещение на участке траектории инструмента вдоль определенного геометрического элемента, на котором не изменяется режим. Так, шагами являются отдельные перемещения инструмента вдоль прямой или окружности с постоянной скоростью, а также разгон и торможение в начале и конце движения.

Простейшими составляющими процесса обработки являются элементарные перемещения и технологические команды, отрабатываемые УЧПУ. Элементарные перемещения формируются с учетом ограничений конкретного устройства числового программного управления. К ним относятся, например, необходимость расположения дуги окружности в пределах одного квадранта или задания отрезка прямой числом дискрет, не превышающим емкости регистра памяти УЧПУ. Технологические команды, реализуемые исполнительными механизмами станка, обеспечивают необходимые условия

отработки элементарных перемещений. Последовательность элементарных перемещений и технологических команд определяет содержание УП.

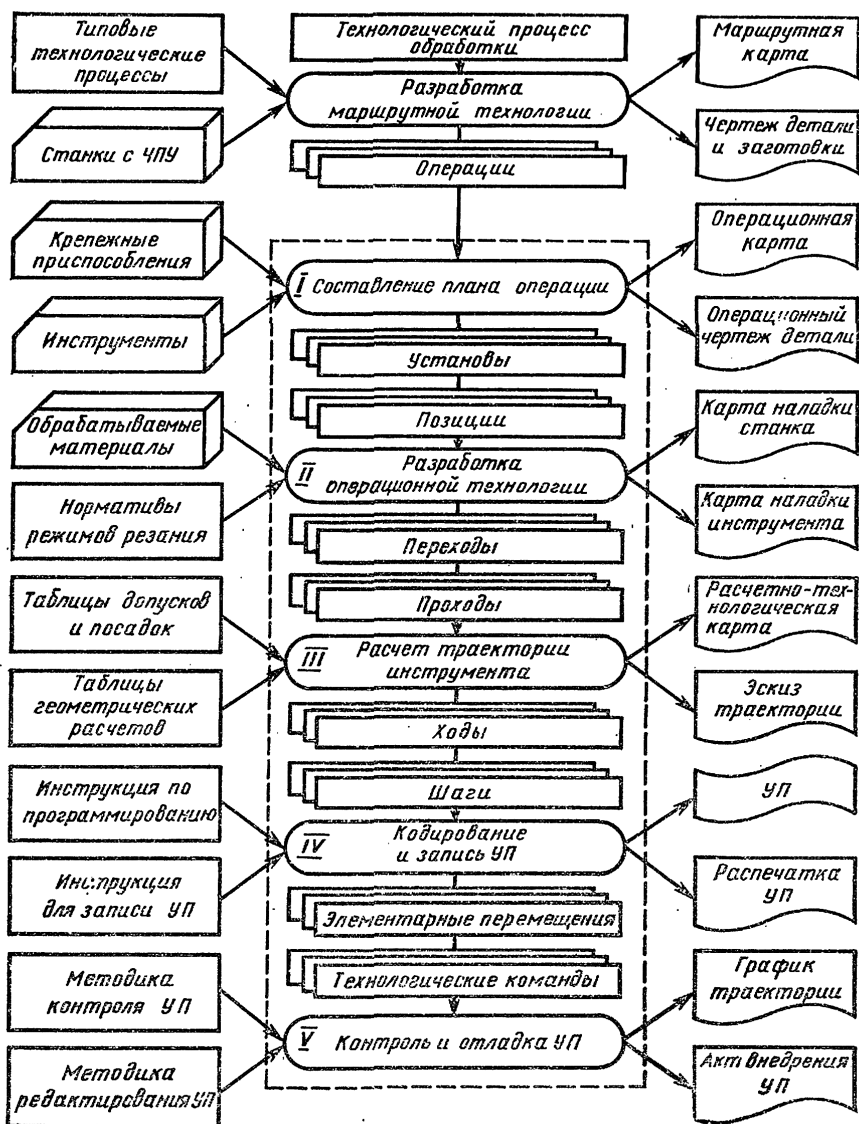


Рис. 1. Схема разработки технологического процесса изготовления детали на станке с ЧПУ

На рис. 1 приведена схема разработки технологического процесса изготовления детали на станке с ЧПУ. Штриховой линией ограничены этапы, имеющие непосредственное отношение к процессу подготовки УП. Левый ряд представляет собой исходную документацию,

используемую при решении технологических задач, правый — выходную документацию, из которой с учетом характера производства и уровня автоматизации решения технологических задач комплектуется сопроводительная документация УП.

Разработка маршрутного технологического процесса производится в технологическом отделе, а остальные этапы, в том числе проектирование операционных технологических процессов обработки на станках с ЧПУ, как правило, выполняются в бюро программного управления предприятия.

При разработке маршрутного технологического процесса определяются состав и последовательность операций. Целесообразность выполнения отдельных операций на станках с ЧПУ устанавливается технико-экономическим расчетом или анализом операций, эффективно выполняемых на этих станках при изготовлении аналогичных деталей. На этой стадии по согласованию с конструкторскими службами в чертеж детали могут быть внесены изменения, повышающие технологичность обработки.

Проектирование УП включает этап составления плана операции (I), предусматривающий разделение операции на установы и позиции, и этап разработки операционной технологии (II), в результате которого определяются переходы и проходы. Дальнейшими этапами, характерными только для подготовки УП, являются расчет траектории инструмента (III), кодирование и запись УП (IV), а также ее контроль и редактирование (V).

Уровни автоматизации подготовки УП

Основные задачи этапов подготовки УП приведены в табл. 1. Знаком «-» отмечены задачи, решаемые на соответствующем уровне автоматизации средствами ВТ. В зависимости от метода решения задач (ручного или автоматизированного) различают следующие уровни автоматизации подготовки УП: 1-й уровень, соответствующий подготовке УП вручную с использованием при расчетах настольных или карманных калькуляторов и устройств подготовки данных на перфоленте (УПДЛ); 2-й — низкий уровень, предусматривающий отработку на ЭВМ подробных указаний технолога-программиста о составе УП; 3-й — средний уровень, реализующий на ЭВМ обобщенные инструкции технолога о выполнении отдельных переходов; 4-й — высокий уровень, при котором операционный технологический процесс полностью разрабатывается ЭВМ.

Подготовка УП на высоком уровне автоматизации может входить в состав задач автоматизированных систем технологической подготовки производства (АСТПП), одной из функций которых является разработка на ЭВМ маршрутного технологического процесса.

В отличие от упрощенных методов расчета, применяемых при разработке операционного технологического процесса вручную, использование ЭВМ для решения технологических задач позволяет более корректно формулировать условия обработки, учитывать больше факторов и в ряде случаев находить оптимальные решения.

Таблица 1

№ этапа	Задачи подготовки УП	Уровни автоматизации			
		1-й	2-й	3-й	4-й
I	Разделение операции на установы и позиции				+
	Выбор метода крепления заготовки				++
	Подготовка операционной карты				++
II	Определение последовательности переходов				+
	Выбор инструмента				++
	Разделение переходов на проходы			+	++
	Расчет режимов резания			++	++
	Подготовка карт наладки станка и инструмента			+	++
III	Определение настроечных размеров детали			+	+
	Пересчет размеров в координаты опорных точек			++	++
	Разделение проходов на ходы и шаги			++	++
	Расчет координат опорных точек траектории		+	++	++
	Преобразование систем координат		++	++	++
IV	Формирование элементарных перемещений		+	+	+
	Определение технологических команд		++	++	++
	Пересчет величин перемещений в дискреты		++	++	++
	Кодирование УП	+	++	++	++
	Запись УП на программноноситель	++	++	++	++
	Распечатка текста УП	++	+	+	++
V	Контроль программноносителя	+	+	+	+
	Контроль траектории инструмента	++	++	++	++
	Редактирование УП		++	++	++

По тому, насколько принятые решения близки к оптимальным, можно судить о качестве УП.

К качеству УП предъявляются различные требования в зависимости от объема серий изделий. Требования к УП для обработки небольшого числа изделий ограничиваются в основном условием выполнения заданного технологического процесса без оптимизации его параметров. Дополнительные затраты на редактирование УП с целью повышения ее эффективности экономически оправданы только для изделий, выпускаемых сериями достаточно большого объема.

1.2. ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ДОКУМЕНТАЦИЯ

Подготовка УП представляет собой переработку разнообразной технологической информации, носителем которой является технологическая документация. Технологической документацией называется комплекс текстовых и графических документов, определяющих в отдельности или в совокупности технологический процесс изготовления изделия и содержащих данные, необходимые для организации производства.

Государственными стандартами установлена Единая система технологической документации (ЕСТД), в которой определены пра-

пила ее разработки, оформления и комплектации, применяемые всеми машиностроительными и приборостроительными предприятиями. Основное назначение стандартов ЕСТД — унификация обозначений и последовательности размещения однородной информации в формах документов, разрабатываемых для работ различных видов.

От того, насколько рационально разработана и используется технологическая документация, во многом зависит эффективность подготовки УП. Тщательно разработанные формы документов экономят труд и время технолога-программиста и уменьшают число ошибок. Независимо от способа обработки информации (ручного или автоматизированного) неперенным условием при разработке форм документов является простота их использования.

Формы документов должны разрабатываться с учетом их назначения, метода обработки информации и времени использования; они должны максимально облегчать запись и поиск информации в соответствии с принятым на данном предприятии способом обработки документации.

При разработке форм документов следует правильно рассчитывать и размещать графы, отводимые для записей, определять интервалы по горизонтали и вертикали, целесообразно располагать элементы информации с учетом применения средств организационной техники. Так, при заполнении форм на пишущей машинке учитываются интервалы между строками и шаги каретки при печатании, а также возможность получения нескольких экземпляров документов одновременно.

Технологическую документацию, используемую при подготовке УП, можно разделить на три группы: справочную, исходную и сопроводительную.

Справочная документация

В состав справочной документации входят картотеки станков с ЧПУ, режущего, вспомогательного и измерительного инструмента, крепежных приспособлений и обрабатываемых материалов, нормативы режимов резания, таблицы допусков и посадок, инструкции по расчету, кодированию, записи, контролю и редактированию УП, а также методические материалы по определению экономической эффективности обработки на станках с ЧПУ.

Карта станка с ЧПУ предназначена для записи его краткой технической характеристики. Формы этих карт разрабатываются для отдельных технологических групп станков. В карту оборудования с ЧПУ для конкретного станка записываются: модель и инвентарный номер станка; тип устройства ЧПУ; технологическая группа и назначение станка; наибольшие габаритные размеры обрабатываемых заготовок; число программно-управляемых координат, в том числе управляемых одновременно; исходные положения и предельные перемещения рабочих органов станка; число позиций инструмента и размеры, определяющие положение его державок; мощ-

ность и КПД двигателя привода главного движения; частоты вращения шпинделя по диапазонам и соответствующие им допустимые крутящие моменты; допустимые силы на привод подач; дискретность задания перемещений; скорости рабочих подач и быстрых ходов; продолжительность смены инструмента; экономическая точность станка и стоимость работы станка в течение 1 мин.

В карте станка с ЧПУ приводится схематический чертеж, на котором указываются обозначения осей координат и положительные направления перемещений рабочих органов.

Карта режущего инструмента предназначена для записи всех необходимых для программирования данных об инструменте. Формы карт разрабатывают для отдельных групп инструментов — резцов, фрез, сверл и других инструментов для обработки отверстий. В карту записывают: тип и назначение инструмента; характер обработки; шифр инструмента, содержащий коды режущей части, державки и станка, в комплект которого входит данный инструмент; координаты вершины инструмента относительно базовой точки его державки; настроечные размеры, определяющие положение инструмента в приспособлении при его настройке вне станка; материал режущей части; предельные глубины резания и врезания; признак формы передней грани; радиус закругления при вершине; длину режущей части; главный и вспомогательный углы в плане; углы наклона режущей кромки; рекомендуемые глубину резания, скорость резания и подачу; допустимый износ; число переточек или граней неперетачиваемых пластинок; стоимость нового инструмента.

В карте режущего инструмента приводится эскиз, поясняющий расположение вершины инструмента и ориентацию его режущей части. На эскизе показывают также возможные направления движения инструмента на рабочей подаче.

Карта крепежной оснастки при обработке на станках токарной группы используется в основном для записи размеров патрона и зажимных кулачков, необходимых для определения положения заготовки относительно шпиндельного узла станка. В карту крепежной оснастки записывают шифр патрона, определяющий его принадлежность к конкретному станку; расстояния между опорными поверхностями кулачков и базовой плоскостью шпинделя; предельные диаметральные размеры рабочих поверхностей кулачков; твердость кулачков и наибольшее усилие зажима. В карте приводится эскиз патрона с кулачками, установленными для зажима наружных и внутренних поверхностей заготовки, с обозначением записываемых в карте размеров. Аналогично составляются карты для тисков, координатных плит, универсальных сборных приспособлений и специальной зажимной оснастки, используемой при обработке на сверлильных, фрезерных и других станках с ЧПУ.

Карта обрабатываемого материала предназначена для записи технологических параметров, используемых при выборе режимов резания. Основной характеристикой обрабатываемого материала служит зависимость скорость резания — стойкость инструмента,

коэффициенты и показатели степеней которой заносят в соответствующие графы формы. Обрабатываемые материалы систематизируются по группам (углеродистые и легированные конструкционные и инструментальные стали, коррозионно-стойкие жаропрочные стали, чугуны, алюминийевые и бронзовые сплавы и т. п.), в пределах которых они различаются коэффициентами обрабатываемости и поправочными коэффициентами, учитывающими материал режущего инструмента. В наибольшем объеме содержание карт обрабатываемых материалов используется при машинном программировании.

Исходная документация

Исходная документация содержит задание на программирование, маршрутную или маршрутно-операционную карту, чертежи детали и заготовки.

Задание на программирование оформляется на отдельном бланке, в котором указываются: номер чертежа и наименование детали; модель станка с ЧПУ; спецификация исходных технологических документов; вид программносителя; число экземпляров УП и состав сопроводительной документации; объем серии и число деталей в партии; срок и трудоемкость изготовления УП. В задании на программирование отмечаются особенности операционного технологического процесса, которые необходимо учесть при подготовке УП.

В **маршрутной карте** (ГОСТ 3.1105—74) приводится описание технологического процесса изготовления или ремонта детали по операциям в их технологической последовательности с указанием оборудования (в том числе станков с ЧПУ), оснастки, материальных и трудовых нормативов.

Если разработка технологического процесса ограничивается установлением перечня операций с указанием станков, составляется упрощенная маршрутно-операционная карта.

К маршрутной карте прилагается карта эскизов, предназначенная для графической иллюстрации технологического процесса изготовления детали и его отдельных элементов. На ней изображается эскиз детали с указанием обрабатываемых поверхностей, их окончательных размеров с допусками, требуемых параметров шероховатости, а также размеров заготовки и припусков на последующие операции. Эскизы выполняются с соблюдением следующих правил: деталь располагается в рабочем положении; обрабатываемые поверхности указываются толстыми линиями, а базовые поверхности — условными обозначениями; для обрабатываемых поверхностей проставляются размеры с допусками и расстояния до баз; на базовых поверхностях приводятся условные обозначения установочных элементов.

Сопроводительная документация

В соответствии с комплектностью УП сопроводительная документация содержит операционную карту и операционный чертеж детали, карты наладки станка и инструмента, операционную рас-

четно-технологическую карту с эскизом траектории инструментов, УП на программоносителе и ее распечатку, график траектории инструментов, полученный на этапе контроля УП, и акт внедрения УП.

Операционная карта (ГОСТ 3.1404—74) предназначена для описания операций технологического процесса изготовления детали с разделением на переходы и указанием оборудования, оснастки и режимов резания. Особенностью содержания операционной карты обработки на станке с ЧПУ являются указания о взаимном расположении базовых поверхностей детали, крепежного приспособления и инструмента при описании установов и переходов.

Карта наладки станка содержит все сведения, используемые при наладке станка для работы по УП. Формы карт наладки разрабатываются для технологических групп или отдельных станков с ЧПУ. Карта заполняется технологом-программистом в процессе ручной подготовки УП или выдается при автоматизированной ее подготовке на ЭВМ. Для каждого установа в карту наладки станка записывают: номер чертежа и наименование детали; модель станка с ЧПУ; номер УП; тип и материал заготовки; шифр крепежной оснастки и силу зажима заготовки; координаты исходных положений рабочих органов станка; диапазон частот вращения шпинделя; сведения об изменении рабочей подачи с пульта УЧПУ; указание о включении охлаждения; шифры инструментов с указанием номеров их позиций и блоков коррекции; данные об отдельных размерах с допусками и указанием номеров кадров УП, а также блоков коррекции для компенсации отклонений формы и расположения обрабатываемых поверхностей после контроля результатов обработки в наладочном режиме. В карте наладки станка приводится эскиз, поясняющий схему крепления заготовки в данном установе.

Карта наладки инструмента используется при настройке инструмента вне станка и установке его на станке в соответствии с выбранной наладкой. В карту записывают координаты вершин всех инструментов наладки и показания прибора для их настройки вне станка.

Операционная расчетно-технологическая карта (ГОСТ 3.1418—74) предназначена для ручной подготовки УП. В эту карту, представляющую собой «рукопись» программы, в принятой для операции последовательности обработки записывают: номера, координаты или приращения координат опорных точек траектории; подачи; частоты и направления вращения шпинделя; номера корректоров и технологические команды.

Эскиз траектории прилагается к операционной расчетно-технологической карте. На нем траектория инструмента вычерчивается для всех переходов с нумерацией ее опорных точек, обозначением начала системы координат, а также точек, в которых выполняются технологические команды.

Распечатка УП осуществляется на устройстве подготовки данных на ленте одновременно с подготовкой перфоленты. При автоматизированном программировании распечатка УП выдается ЭВМ в составе сопроводительной документации.

График траектории вычерчивается на автономном или подключенном к ЭВМ графопостроителе.

Акт внедрения УП является заключительным документом, в котором отражаются результаты пробной обработки одной или нескольких заготовок на станке с ЧПУ по подготовленной УП. В акте отмечается соответствие обработанных поверхностей требованиям к их точности и шероховатости, рациональность режимов резания и приводятся данные хронометража. Акт подписывается контролером ОТК, мастером участка станков с ЧПУ, технологом ОГТ и начальником БПУ. Если деталь ранее изготавливалась на станке с ручным управлением, то в акте обосновывается экономическая эффективность ее перевода на станок с ЧПУ, после чего акт служит основанием для изменения технологического процесса на предприятии.

Комплектность и формы технологической документации, используемой при подготовке УП, могут меняться в зависимости от принятого на данном предприятии документооборота и метода программирования — ручного или с помощью ЭВМ.

1.3. ДЕТАЛИ, СТАНКИ И СИСТЕМЫ ЧПУ

При программировании обработки на станках с ЧПУ учитываются конструктивные особенности изготавливаемых деталей, технологические возможности станков и принципы функционирования систем ЧПУ.

Изготавливаемые детали

Детали, изготавливаемые на станках с ЧПУ, можно объединить по конструктивно-технологическим признакам в следующие группы: плоскостные детали с простыми и сложными контурами, обрабатываемыми на фрезерных, электроэрозионных, шлифовальных станках и газорезательных машинах с ЧПУ; объемные детали, поверхности которых обрабатываются на многокоординатных фрезерных станках с ЧПУ; тела вращения со ступенчатым и криволинейным профилем, для обработки которых служат токарные станки с ЧПУ; плоскостные детали с различными отверстиями, получаемыми на сверлильных станках с ЧПУ; корпусные детали, сверление и расточка отверстий которых проводится на сверлильно-расточных станках с ЧПУ, а комплексная обработка, включающая операции фрезерования, производится на многооперационных станках.

Подбор деталей для изготовления на станках с ЧПУ ведется на основании технико-экономического расчета. Главный критерий подбора — эффективность изготовления деталей при использовании станков с ЧПУ. Показателями эффективности могут быть снижение приведенных затрат или повышение производительности обработки, повышение качества изделия и др. Основными факторами при расчете эффективности перевода изготовления детали на станок с ЧПУ являются сложность детали и технологичность ее обработки, объем серии и число деталей в партии, технологические возможности

и экономические показатели станка, а также методы и средства подготовки УП.

Сложность детали характеризуется числом обрабатываемых поверхностей, их формой и расположением, требованиями к точности и шероховатости. Для работы на станке с ЧПУ применяется универсальная оснастка в условиях высокой концентрации операций, полностью исключается разметка и благодаря высокой стабильности получаемых размеров детали сокращается число операций контроля. Поэтому чем сложнее деталь, тем эффективнее перевод ее изготовления на станок с ЧПУ.

Объем серии и число деталей в партии определяются областью рационального применения станка с ЧПУ [16]. Под серией понимают общее число изделий определенных наименования, типоразмера и исполнения, изготавливаемых или ремонтируемых по неизменяемой конструкторской документации. Опыт эксплуатации станков с ЧПУ показывает, что они наиболее эффективны при изготовлении серий деталей небольшого объема. Число деталей в партии, т. е. число одинаковых деталей, изготавливаемых без переналадки оборудования, выбирают из условия минимизации затрат на одну деталь. Для уменьшения затрат подготовительно-заключительного времени, приходящегося на одну деталь, партию целесообразно увеличивать, а с ростом трудоемкости изготовления детали — уменьшать.

От технологических характеристик станка зависят возможность концентрации операций и продолжительность обработки. Время на обработку $T_{\text{обр}} = \sum_{i=1}^m (t_o + t_v + t_{\text{п.з}}/n)$, где t_o — основное время; t_v — вспомогательное время; $t_{\text{п.з}}$ — подготовительно-заключительное время; n — число деталей в партии; m — число операций.

Время $T_{\text{обр}}$ уменьшается при переводе изготовления детали на станок с ЧПУ. Так, основное время уменьшается на 5—30 % интенсификацией режимов резания. Вспомогательное время включает время установки заготовки и снятия детали, вспомогательных ходов, контроля обработки и переключения механизмов управления станка. Время установки и снятия заготовки уменьшается пропорционально концентрации операций обработки. Время вспомогательных ходов на станке с ЧПУ уменьшается, так как скорости быстрых перемещений в автоматических циклах выше. Время контроля обработки на станке с ЧПУ сокращается практически полностью. Затраты времени на переключение механизмов управления станка с ЧПУ также меньше, чем при обработке на неавтоматизированном оборудовании. В целом вспомогательное время при переводе изготовления детали на станок с ЧПУ уменьшается примерно вдвое. Наконец, подготовительно-заключительное время сокращается при обработке на станке с ЧПУ за счет концентрации операций.

Технико-экономический расчет должен показать, что указанные преимущества превалируют над дополнительными затратами на более дорогостоящее оборудование с ЧПУ, его ремонт и обслуживание, а также на подготовку УП.

Особые требования предъявляются к технологичности конструкции деталей, форма и размеры которых должны отвечать условиям выполнения операций их обработки в автоматическом режиме. Технологичность деталей может быть повышена, например, для фрезерной обработки путем выбора одинаковых в пределах данной детали радиусов сопряжения наружных и внутренних поверхностей, для токарной обработки — унификацией форм и размеров технологических канавок, для сверлильной обработки — унификацией форм и размеров отверстий, что дает возможность сократить число инструментов наладки.

Для упрощения программирования желательно, чтобы обрабатываемые поверхности располагались параллельно базовым плоскостям и обрабатывались с управлением по одной или двум координатам, а контуры деталей были образованы отрезками прямых и дугами окружностей. Эти условия менее существенны при автоматизированной подготовке УП.

Станки с ЧПУ

В зависимости от основных операций обработки станки с ЧПУ объединены в различные технологические группы.

Фрезерные станки с ЧПУ компонуются по типу вертикальных и горизонтальных консольных и бесконсольных одно- и двухстоечных станков. Горизонтально-фрезерные станки оснащаются поворотным столом, управляемым по программе.

На фрезерных станках с вертикальным шпинделем преимущественно изготавливаются плоскостные и коробчатой формы детали небольших габаритных размеров, а также сложные поверхности плоских и объемных кулачков, шаблонов и других деталей. На станках с горизонтальным шпинделем обрабатываются различно расположенные поверхности корпусных деталей.

Токарные станки с ЧПУ выпускаются в следующих исполнениях: центровые, патронные, патрно-центровые и карусельные. Наибольшее применение получили станки с горизонтальной осью шпинделя, горизонтальной, вертикальной или наклонной станиной, на которой размещается суппорт с кареткой. Направляющие продольного перемещения расположены обычно на станине, поперечного перемещения — на суппорте. Токарные станки оснащаются одной, двумя револьверными головками или автоматическими разцедержателями с горизонтальной или вертикальной осью поворота на 3—8 позиций, цепными или барабанными магазинами на 8—16 инструментов, манипуляторами для передачи инструмента из магазина на рабочую позицию.

Изготавливаемые на этих станках детали типа тел вращения входят в состав практически всех машин и механизмов. Из деталей общемашиностроительного применения наиболее представительны детали класса валов, втулок, фланцев и крышек.

Сверлильные станки с ЧПУ имеют различные варианты компоновок на базе сверлильных, бесконсольных вертикально- или гори-

зонально-фрезерных и расточных станков. Они оснащаются револьверными головками или инструментальными магазинами различных типов.

На сверлильных станках с ЧПУ преимущественно обрабатываются разнообразные крепежные отверстия.

Многооперационные станки позволяют изготавливать деталь при минимальном числе установов. Они создаются на базе сверлильно-расточных станков и оснащаются инструментальными магазинами. Областью применения таких многооперационных станков с ЧПУ является обработка плоскостей, пазов и отверстий корпусных деталей в условиях мелко- и среднесерийного производства.

Следующей ступенью интеграции изготовления деталей являются **автоматизированные технологические комплексы** из станков с ЧПУ, объединенные транспортной системой и управляемые средствами вычислительной техники. Эффективность таких комплексов обеспечивается автоматизацией всех составляющих технологического процесса механической обработки деталей, применением контрольно-измерительных машин, автоматизированных транспортно-складских систем и промышленных роботов. Автоматизированные системы управления этими комплексами предусматривают оптимальное планирование и диспетчирование с учетом сложившейся производственной ситуации. В СССР принято следующее обозначение автоматизированных комплексов: АСВ — для обработки деталей типа тел вращения и АСК — для обработки корпусных деталей [1]. Дальнейшее развитие автоматизации направлено на создание автоматизированных цехов и заводов-автоматов на базе оборудования с ЧПУ.

Основными факторами, обуславливающими эффективность применения станков с ЧПУ, являются: сокращение основного времени обработки минимизацией рабочих ходов и реализацией в УП расчетных обоснованных режимов резания, не зависящих от субъективной оценки и опыта станочника; сокращение вспомогательного времени за счет автоматизации переключения механизмов управления станка, высоких скоростей и минимизации быстрых ходов в автоматических циклах; исключение операций разметки и сокращение контрольных операций; повышение качества, обеспечиваемое строгой повторяемостью получаемых размеров деталей и уменьшением брака, связанного с утомляемостью станочника; использование менее квалифицированной рабочей силы при многостаночном обслуживании; концентрация операций, снижающая затраты на переналадку оборудования, транспортирование, хранение и контроль деталей, а также изготовление специальной крепежной и инструментальной оснастки; сокращение цикла подготовки производства новых деталей и сроков их поставки; улучшение условий труда и снижение дефицита рабочей силы. Так как стоимость станков с ЧПУ и дополнительные затраты при их использовании на подготовку УП, настройку инструмента вне станка и обслуживание устройств управления велики, внедрению станков с ЧПУ должен предшествовать технико-экономический анализ.

Системы числового программного управления

Система числового программного управления (СЧПУ) представляет собой совокупность специализированных устройств, методов и средств, необходимых для осуществления числового управления. УЧПУ является частью этой системы, предназначенной для выдачи управляющих воздействий в соответствии с УП и информацией о состоянии управляемого объекта. По принципу управления движением СЧПУ делятся на позиционные, непрерывные и универсальные.

Позиционные СЧПУ (их называют также координатными системами, или системами управления положением) обеспечивают установочные и рабочие перемещения инструмента в заданную позицию. Для этого в УЧПУ предусмотрен блок, который с необходимой частотой сравнивает действительное и заданное положения исполнительного органа станка. Последовательность позиций инструмента задается координатами опорных точек в абсолютной системе координат и циклами обработки. Позиционные СЧПУ применяют в сверлильных и сверлильно-расточных станках, а также в токарно-карусельных и фрезерных станках для обработки прямоугольных контуров. К обозначениям станков с позиционными СЧПУ добавляется индекс Ф2.

Непрерывные СЧПУ (называемые также контурными системами, или системами управления движением) предназначены в основном для изготовления деталей с криволинейным профилем. Функциональная зависимость между перемещениями вдоль каждой из координатных осей, необходимая для управления движением по криволинейной траектории, обеспечивается линейной или линейно-круговой интерполяцией. Перемещения в непрерывных СЧПУ задаются как абсолютными координатами, так и приращениями координат. Непрерывными СЧПУ оснащено большинство фрезерных и токарных станков. К наименованиям станков с непрерывными СЧПУ добавляется индекс Ф3.

Известно несколько методов интерполяции, среди которых наибольшее распространение получил метод оценочной функции, основанный на решении алгебраических уравнений.

При линейной интерполяции отрезок прямой рассматривается в системе координат, начало которой совмещено с начальной точкой T_H отрезка (рис. 2, а). Оценочную функцию для любой из промежуточных точек траектории вдоль прямой можно выразить формулой

$$F_{ij} = y_j x_k - x_i y_k,$$

где x_k, y_k — координаты конечной точки интерполируемого участка (координаты начальной точки при интерполяции отрезка прямой

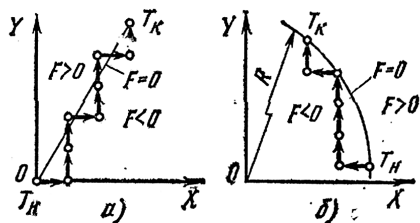


Рис. 2. Интерполяция по методу оценочной функции

равны нулю); x_i, y_j — текущие координаты точки траектории, определяемые числом элементарных дискретных перемещений i вдоль оси X и j — вдоль оси Y .

Прямая делит плоскость на две части: область $F > 0$, где оценочная функция после подстановки в нее координат точек этой области принимает положительные значения, и область $F < 0$, где значения оценочной функции отрицательны. Правило следования элементарных дискретных перемещений определяется квадрантом, в котором расположен интерполируемый отрезок. Для случая, когда отрезок находится в первом квадранте системы координат, направление элементарного дискретного перемещения определяется в зависимости от расположения предыдущей точки: если она находится в области $F \geq 0$, то дискретное перемещение осуществляется вдоль оси X , если в области $F < 0$, — вдоль оси Y . И так до тех пор, пока текущая точка траектории не совпадет с точкой конца интерполируемого отрезка.

При круговой интерполяции начало системы координат совмещается с центром окружности радиусом R (рис. 2, б). Оценочная функция для любой из промежуточных точек траектории вдоль окружности выражается формулой

$$F_{ij} = x_i^2 + y_j^2 - R^2.$$

Окружность делит плоскость на две части: область $F > 0$, расположенную вне окружности, и область $F < 0$, находящуюся внутри нее. В зависимости от направления движения вдоль окружности по или против часовой стрелки и квадранта расположения интерполируемой дуги выбирается правило определения последовательности элементарных дискретных перемещений. Для иллюстрируемого случая проверяется положение текущей точки: если $F \geq 0$, дискретное перемещение осуществляется в отрицательном направлении оси X , а если $F < 0$, — в положительном направлении оси Y . Интерполяция начинается в точке T_n и продолжается до тех пор, пока не будет достигнута точка T_k дуги окружности или граница квадранта.

При трехкоординатной линейно-круговой интерполяции отрезки прямых интерполируются по трем координатам, а дуги окружностей — в одной из координатных плоскостей, заданной в УП.

Универсальные СЧПУ позволяют реализовать оба принципа управления, необходимые, например, для многооперационных станков, где для фрезерования контуров и поверхностей корпусных деталей требуется непрерывное управление, а для обработки отверстий — позиционное управление с использованием стандартных циклов сверлильных операций. К наименованиям станков с универсальными СЧПУ независимо от числа управляемых координат добавляется индекс Ф4.

УЧПУ по исполнению делят на устройства с постоянной и переменной структурами. В первом случае функции УЧПУ реализуются блоками электронных схем — аппаратно, а во втором — программно с помощью встроенной в УЧПУ ЭВМ.

Схема УЧПУ с постоянной структурой приведена на рис. 3, а.

Устройство ввода 2 служит для построчного считывания УП 1 с перфоленты в старт-стопном режиме при работе станка по УП или в кадровом режиме при отладке УП на станке. Современные УЧПУ позволяют вводить информацию как от перфоленты, так и от магнитной ленты, а также непосредственно от ЭВМ по каналу связи.

В пульте управления 3 предусмотрены функциональные клавиши, переключатели и счетчики коррекции, с помощью которых оператор подготавливает станок для его работы по УП: приводит рабочие органы станка в требуемые начальные положения, задает коррекцию, дает команду на перемотку перфоленты и т. п.

Блок управления 4 обеспечивает загрузку регистров памяти кадрами УП и в соответствии с содержанием обрабатываемого кадра—требуемую последовательность работы функциональных блоков УЧПУ.

Блок памяти 5 состоит из регистров для хранения кадров УП. Он необходим потому, что продолжительность отработки текущего кадра может оказаться меньше времени считывания с перфоленты последующего кадра; возникающая в этом случае пауза в отработке кадра может привести к недопустимому изменению заданной в УП контурной скорости, а также потому, что для автоматического определения участков разгона и торможения в УЧПУ используется информация о скоростях и перемещениях, содержащаяся в соседних кадрах.

Блок задания скорости 6 представляет собой регулируемый генератор импульсов, задающий шаги интерполяции. Кроме своей основной функции — обеспечения заданной скорости подачи — этот блок поддерживает постоянную контурную скорость, а также осуществляет разгон и торможение при перепадах скоростей.

Блок интерполяции 7 является одним из основных узлов УЧПУ, и поэтому последние часто называют интерполяторами. Блок интерполяции преобразует заданные в числовой форме перемещения в определенную последовательность импульсов, распределенную соответствующим образом по управляемым координатам привода подач 12 станка.

Сравнивающее устройство 8 выполняется в виде реверсивного счетчика, на один вход которого подаются импульсы из блока интерполяции, а на другой — от датчика обратной связи 11. Разность импульсов преобразуется в сигнал ошибки, подаваемый для ее компенсации на привод подач. Такой принцип управления движением рабочих органов станка используется в замкнутых системах регу-

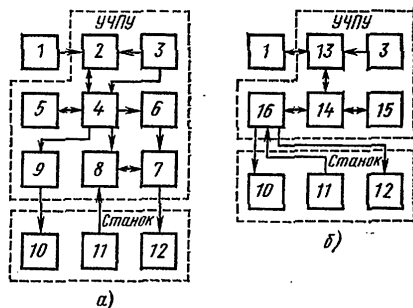


Рис. 3. Схемы УЧПУ с постоянной (а) и переменной (б) структурами

лирования приводами подач, где обратную связь обеспечивают датчики импульсов.

Блок технологических команд 9 служит для управления цикловой автоматикой станка 10, реализующей заданные в УП команды на переключение режимов работы приводов подач и главного движения, а также команды на смену инструмента, ввод коррекции и т. п.

Укрупненная схема УЧПУ с переменной структурой приведена на рис. 3, б. Процессор 14 встроенной ЭВМ с оперативной памятью 15 выполняет по программе для этой ЭВМ функции УЧПУ, которые возложены на блоки 4—9 (см. рис. 3, а). Согласующее устройство 16 (см. рис. 3, б) обеспечивает связь УЧПУ со станком. Оно выдает управляющие сигналы для цикловой автоматики станка 10 и привода подач 12 и получает от датчиков обратной связи 11 необходимую для расчета информацию о действительном положении рабочих органов станка. УП 1 вводится в УЧПУ с помощью внешних устройств 13 встроенной ЭВМ с перфоленты, магнитной ленты на компакт-кассете, ручным набором кадров УП с клавиатуры телеайпа или по каналам связи из ЭВМ, на которой готовятся УП. Если УП помещены в оперативную или долговременную память встроенной ЭВМ, к требуемой УП можно обратиться по ее номеру. Кроме функций управления станком, УЧПУ со встроенной ЭВМ предусматривает редактирование УП и диагностику станка с ЧПУ.

Развитие УЧПУ тесно связано с прогрессом в области вычислительной техники.

Первые УЧПУ строились на дискретных электронных элементах.

Из-за высокой стоимости УЧПУ невозможно было оснащать ими каждый станок и поэтому УЧПУ конструктивно было разделено на два узла: общий для ряда станков интерполятор и индивидуальный для станка магнитофон. УП, подготовленная вручную или на ЭВМ, вводилась с перфоленты в интерполятор для преобразования ее числовой формы в унитарный код и в виде последовательности импульсов для привода подач станка записывалась на магнитную ленту. Сложность записи технологических команд на магнитную ленту практически исключала их применение. Редактирование УП приводило к ее изменению на перфоленте и повторной записи на магнитную ленту.

Переход к микросхемам с малой и средней степенью интеграции снизил стоимость УЧПУ с интерполятором, что позволило исключить промежуточный программноноситель и расширить состав технологических команд, включая коррекцию размеров, положения и траектории инструмента. Тем не менее подготовка и редактирование УП производились в разное время, что приводило к простоям станков с ЧПУ из-за отсутствия УП. Быстрое изнашивание перфоленты при ее заправке в устройство ввода, считывании и перемотке для изготовления на станке следующей детали партии требовало подготовки нескольких дублей УП. Чтобы избежать многократного использования перфоленты, в УЧПУ был увеличен объем памяти для запоминания всех кадров УП.

Переход к большим интегральным схемам (БИС), микропроцессорным БИС и построенным на их основе микро-ЭВМ позволил создать УЧПУ, совмещающие функции управления станком и решение отдельных задач подготовки УП. Более полная автоматизация решения задач подготовки УП становится возможной с появлением недорогих малогабаритных ЭВМ с высоким быстродействием и большим объемом оперативной памяти, с разнообразными внешними устройствами ввода-вывода и графического отображения информации.

Согласно международной классификации различают УЧПУ типа NC, SNC, CNC, DNC [19].

К NC относят УЧПУ с постоянной структурой и УП, задаваемой на перфоленте. Разновидностью NC являются УЧПУ с промежуточным программноносителем на магнитной ленте. SNC сохраняет все свойства NC, но отличается от него наличием памяти для УП.

В классе CNC объединены все УЧПУ со встроенными ЭВМ. К этому классу относят и HNC, которые предусматривают подготовку УП преднабором кадров вручную с клавиатуры на пульте управления и одновременную их обработку на станке.

DNC являются устройствами централизованного управления группой станков от ЭВМ. В функции DNC входит управление и другим оборудованием автоматизированного участка, например автоматизированным складом, транспортной системой и промышленными роботами, а также решение некоторых организационно-экономических задач планирования и диспетчирования работы участка. Редактирование УП в DNC возможно на внешней ЭВМ, на которой ведется автоматизированная подготовка УП, на ЭВМ, управляющей группой станков, и на ЭВМ, встроенной в УЧПУ конкретного станка. Во всех случаях подготовленные и отредактированные УП для оборудования участка хранятся в памяти ЭВМ, управляющей группой станков, откуда они передаются на станки по каналам связи. В состав ПМО DNC может входить и специализированная система автоматизации подготовки УП.

Путь информации УП в УЧПУ показан на рис. 4: *a* — NC; *б* — NC с промежуточной записью УП на магнитную ленту (М); *в* — SNC; *г* — CNC; *д* — HNC; *е* — DNC, управляющее группой станков со всеми перечисленными типами УЧПУ. Пунктиром обозначены контуры, в которых циркулирует информация УП при обработке партии деталей. Цифрами указаны возможные варианты подготовки и редактирования УП: 1 — на внешней ЭВМ; 2 — на ЭВМ, управляющей группой станков; 3 — на ЭВМ, встроенной в УЧПУ станка; 4 — вручную.

Разработка и совершенствование СЧПУ ведутся в нескольких направлениях, определяемых сложностью формообразования изготавливаемых деталей, серийностью их изготовления, технологическими возможностями оборудования и организационными принципами работы станков с ЧПУ. Основными являются системы управления следующих видов: оперативные, продуктивные, универсальные, целевые [3] и групповые.

Оперативные системы управления (ОСУ) разрабатываются для универсальных токарных, фрезерных, сверлильных и других станков, изготавливающих небольшие партии деталей несложной конфигурации. Базой для ОСУ служат устройства типа HNC, ПМО которых позволит оператору станка задавать обобщенные указания об условиях обработки в режиме диалога со встроенной ЭВМ на упрощенном языке программирования.

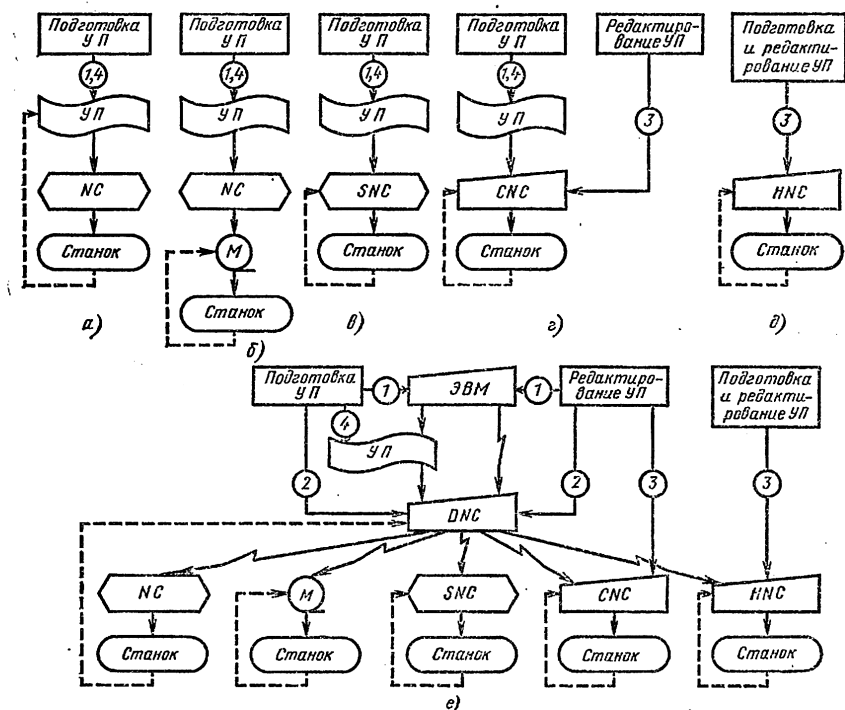


Рис. 4. Путь управляющей информации при использовании различных УЧПУ

Продуктивные системы управления (ПСУ) предназначены для управления широкоавтоматизированными, высокопроизводительными многооперационными станками в условиях средне- и крупносерийного производства при изготовлении основной номенклатуры деталей машиностроения. Вследствие большой серийности таких станков функции ПСУ определяются на этапе разработки. Реализация этих функций наиболее перспективна при помощи микропроцессорной техники. Программирование для ПСУ предполагается вести в вычислительных центрах, а УП должна записываться в коде ИСО.

Универсальные системы управления (УСУ) создаются для уникальных станков, задачи управления которыми не могут быть достаточно полно определены на этапе их разработки. В этом случае потребитель станка должен иметь возможность программно изме-

нять алгоритмы работы УЧПУ. УСУ целесообразно строить на базе микро-ЭВМ и придавать им ПМО для программирования встроенной ЭВМ, редактирования УП и диагностики станка с ЧПУ.

Целевые системы управления (ЦСУ) разрабатываются для станков, которые ранее не оснащались УЧПУ (резьбонарезные, зубообрабатывающие и др.). ЦСУ строятся на базе командоаппаратов на микропроцессорах. Структура ЦСУ должна быть ориентирована на конкретную модель станка, иметь минимальную избыточность средств вычислительной техники и создавать оператору максимальные удобства для работы.

Групповые системы управления (ГСУ) представляют собой типовые комплексы средств вычислительной техники для управления автоматизированными участками станков. В состав ГСУ входят центральная малая ЭВМ и рассредоточенные по управляемым объектам микро-ЭВМ и программируемые командоаппараты, а также внешние устройства, обеспечивающие оперативную подготовку, контроль и регистрацию информации. ПМО ГСУ должно иметь в своем составе универсальные и специальные программные модули для решения задач подготовки производства, управления и диагностики состояния оборудования.

Ближайшей перспективой развития ЧПУ является разработка методов и средств повышения степени автоматизации и надежности работы оборудования для реализации так называемой «безлюдной» технологии изготовления деталей на гибких переналаживаемых автоматических линиях будущих цехов заводов-автоматов.

Подготовка УП для станков с ЧПУ требует решения ряда технологических задач, многие из которых не возникали при разработке операционного технологического процесса для станков с ручным управлением. Вследствие ограниченных возможностей вмешательства оператора в автоматический цикл обработки на станке с ЧПУ, отработка реализуемого в УП операционного технологического процесса экономически оправдана только при большом объеме серии изделий. Обеспечить экономичность и надежность обработки на станках с ЧПУ позволяет применение проверенных на практике типовых технологических решений. Типовые технологические решения значительно уменьшают трудоемкость подготовки УП вручную и служат основой автоматизированной подготовки УП на ЭВМ.

Типовые технологические решения рассмотрены для основных операций обработки типовых элементов деталей — фрезерной обработки контуров и поверхностей, токарной обработки тел вращения и сверлильно-расточной обработки отверстий.

2.1. ОБРАБОТКА КОНТУРОВ И ПОВЕРХНОСТЕЙ

Все многообразие элементов деталей, обрабатываемых фрезерованием, можно разделить на две группы: элементы, поверхности которых получаются проходом фрезы вдоль контура, и элементы, поверхности которых требуют многопроходной обработки заготовки.

В зависимости от числа одновременно управляемых координат различают плоскую и объемную обработку контуров и поверхностей детали. Плоская обработка предполагает проведение рабочих ходов в плоскости, параллельной одной из координатных плоскостей. Объемная обработка ведется одновременно по трем и более координатам.

Основные типы фрез, применяемых для обработки контуров и поверхностей, показаны на рис. 5: *а* — концевая цилиндрическая; *б* — концевая сферическая; *в* — концевая шаровая; *г* — концевая коническая; *д* — торцовая; *е* — дисковая. Буквами *В*, *Ц* и *С* обозначены точки, для которых рассчитывается траектория инструмента. Вершина инструмента *В* является расчетной точкой траектории, когда обработка поверхности ведется боковой или торцовой частью фрезы. Центр закругления *Ц* служит расчетной точкой при криволинейной обработке скругленной боковой частью фрезы. Для конической фрезы в качестве расчетной точки может использоваться

не только вершина, но и точка C , лежащая на пересечении оси инструмента с плоскостью, в которой заданы размеры обрабатываемого элемента детали. Проекция этой плоскости показана на рис. 5 штриховой линией.

Операции обработки на фрезерных станках с ЧПУ включают технологические переходы, выполняемые не только фрезами разных типов, но и другими инструментами, характерными для обработки

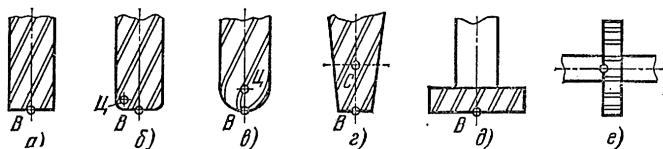


Рис. 5. Основные типы фрез для обработки контуров и поверхностей

отверстий, — сверлами, зенкерами, развертками и т. п. Последовательность переходов определяют, учитывая необходимость обеспечения требуемой точности обработки и сокращения продолжительности вспомогательных переходов. Операции фрезерования, как правило, начинают с черновой обработки внешних и внутренних поверхностей большой протяженности, а затем производят чистовую обработку этих поверхностей. Далее обрабатывают большие и затем мелкие отверстия. Для программирования технологических переходов фрезерования применяют типовые схемы обработки контуров, плоскостей и поверхностей.

Схемы обработки контуров

Контуров обрабатывают в основном концевыми фрезами. Траектория перемещения инструмента состоит из участков подвода фрезы к обрабатываемой поверхности (включая врезание), прохода вдоль обрабатываемого контура и отвода от обработанной поверхности.

Участку врезания следует уделять особое внимание, так как на нем происходит нагружение инструмента силой резания. Этот участок при чистовой обработке должен быть построен таким образом, чтобы сила резания на нем нарастала и плавно приближалась по величине и направлению к силе, действующей на рабочем участке обрабатываемого профиля, что обеспечивается вводом инструмента в зону резания по касательной к обрабатываемому контуру.

При черновой обработке врезание обычно производят по нормали к контуру. Аналогично строят участки выхода фрезы из зоны резания.

Траектория перемещения инструмента при обходе контура может иметь участки с резким изменением направления движения, что вызывает искажение контура вследствие упругих деформаций инструмента в процессе резания и динамических погрешностей привода подач станка. Искажение контура можно исключить или уменьшить путем снижения скорости подачи, уменьшения припуска на

обработку, изменения размеров инструмента или предсказания его траектории. Эти приемы могут применяться в различных сочетаниях.

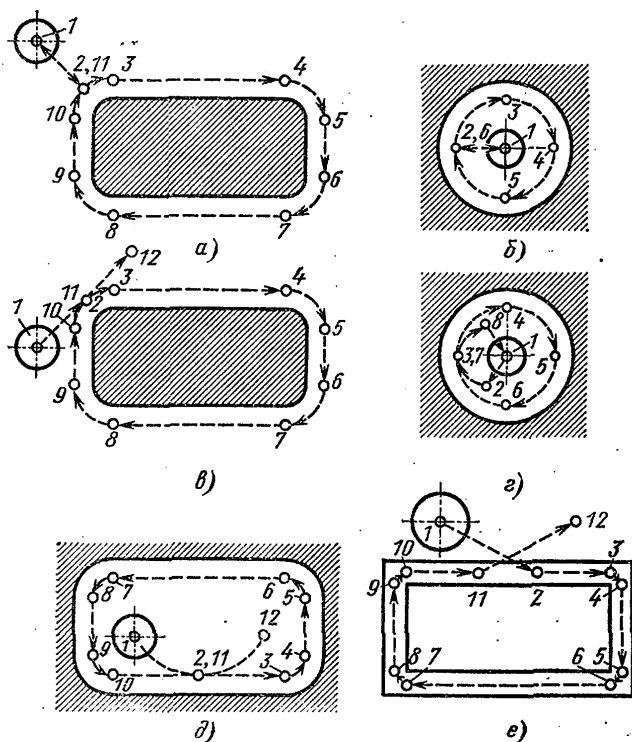


Рис. 6. Схемы обработки контуров

На рис. 6 * приведены типовые схемы: черновой обработки наружного (рис. 6, а) и внутреннего (рис. 6, б) контуров, чистовой обработки наружного (рис. 6, в) и внутренних (рис. 6, г, д) контуров концевой фрезой и фрезерования прямоугольного контура (рис. 6, е) торцевой фрезой.

Схемы обработки плоских поверхностей

Обработка плоских поверхностей (плоскостей) производится преимущественно концевыми и торцевыми фрезами. В зависимости от расположения обрабатываемых плоскостей относительно граничащих с ними других элементов детали различают открытые, полуоткрытые и закрытые плоскости. Граница открытой плоскости не является препятствием для ввода и вывода инструмента на всех ее участках. Полуоткрытая плоскость имеет границу, на одном из

* На этой и последующих схемах цифрами обозначены опорные точки траектории инструмента.

участков которой можно вводить и выводить инструмент на уровне плоскости. Закрытая плоскость ограничена со всех сторон стенками, что позволяет вводить инструмент в зону резания только сверху либо врезанием, либо в заранее подготовленное отверстие.

Типовые схемы обработки плоскостей показаны на рис. 7. Обработка открытых плоскостей ведется в прямом и обратном направлениях по схеме «зигзаг» (рис. 7, а) при черновом фрезеровании и

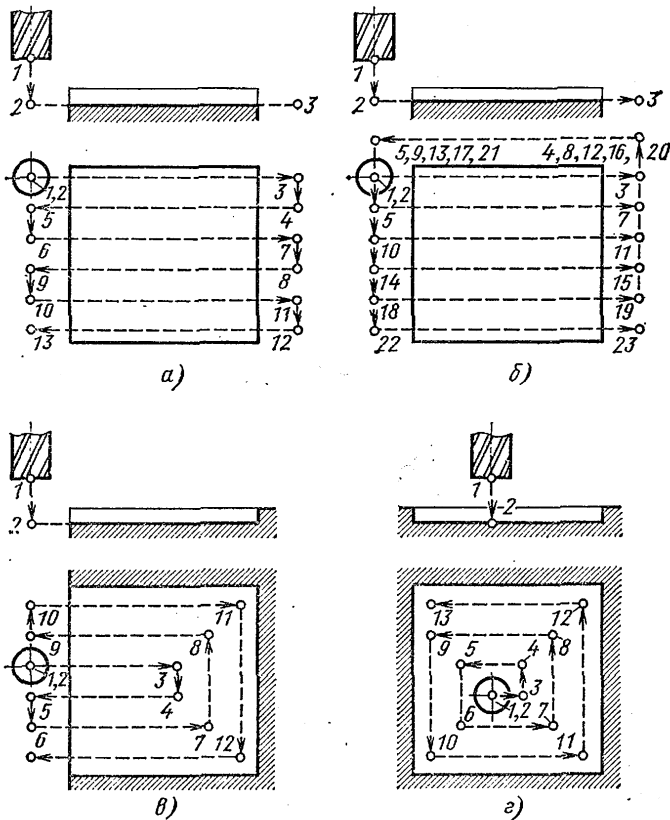


Рис. 7. Схемы обработки плоскостей

строками в прямом направлении по схеме «петля» (рис. 7, б) при чистовом фрезеровании. Для обработки полуоткрытой плоскости применяется схема «лента» (рис. 7, в), а для обработки закрытой плоскости — схема «виток» (рис. 7, г). Расстояния между проходами принимают равными 0,6—0,8 диаметра фрезы (D_f).

Для обработки закрытой плоскости, ограниченной окружностью, лучшей траекторией, обеспечивающей равномерное снятие припуска, является архимедова спираль. В полярных координатах ρ и φ эта спираль описывается уравнением $\rho = k\varphi$, где k — коэффициент, определяющий шаг спирали.

Такая траектория может быть получена на станке с поворотным столом, если совместить центр окружности с осью вращения стола и придать равномерные движения — вращательное столу и поступательное инструменту. Это в большинстве случаев неприемлемо, как и аппроксимация спирали. Аппроксимация спирали связана с трудоемкими расчетами, приводит к большому числу кадров УП и, самое главное, — сводит на нет важное преимущество спирали — ее «гладкость», характеризуемую непрерывностью не только функции, но и ее первой производной.

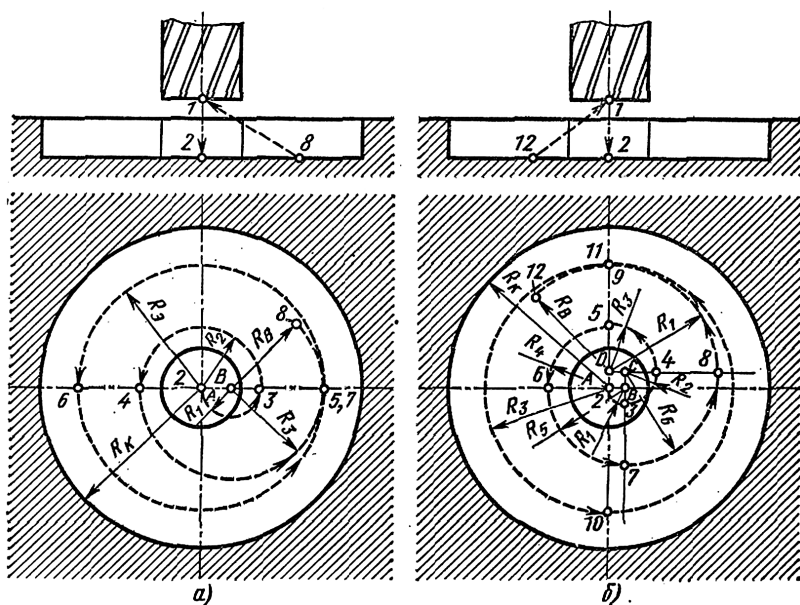


Рис. 8. Двух- (а) и четырехполюсная (б) спирали

На станках с линейно-круговой интерполяцией можно вести обработку закрытой плоскости по спирали, образованной сопряженными дугами окружностей, которая, так же как и архимедова спираль, удовлетворяет условию непрерывности первой производной. Спирали из сопряженных дуг окружностей строят с двумя и четырьмя полюсами.

Двухполюсная спираль (рис. 8, а) образуется из сопряженных дуг полуокружностей, центры которых поочередно находятся в полюсах А и В. Полюс А располагается в центре окружности радиусом R_K , ограничивающей закрытую плоскость. Расстояние между полюсами В и А равно половине шага спирали. Спираль начинается в центре окружности радиусом R_K , соосно с которым сверлят отверстие для ввода фрезы. Шаг спирали h выбирают в диапазоне 0,6—0,8 D_ϕ из условия сопряжения спирали с окружностью радиусом R_ϕ ,

эквидистантной к окружности радиусом R_k : $h = R_a/a$, где a — выбирают из условия

$$R_a/(0,6D_{\phi}) \geq a \geq R_a/(0,8D_{\phi}),$$

и меньшее его значение в этих пределах округляют до большего целого числа.

В иллюстрируемом случае спираль образована дугами полуокружностей радиусами R_1 и R_3 с центрами в полюсе B и дугой полуокружности радиусом R_2 с центром в полюсе A . Полная траектория фрезы при обработке закрытой плоскости, ограниченной окружностью радиусом R_k , состоит из следующих частей: участка ввода

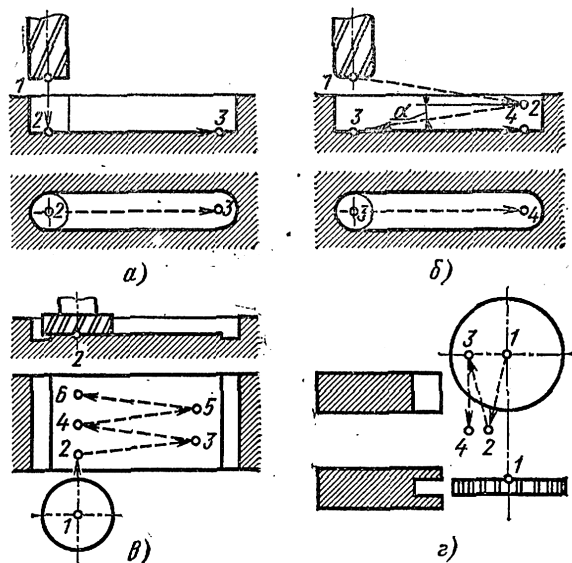


Рис. 9. Схемы обработки пазов

фрезы в зону резания (1—2), двухполюсной спирали (2—3—4—5), окружности радиусом R_a (5—6—7), участка отвода фрезы от ограничивающей окружности радиусом R_k по сопряженной с окружностью радиусом R_a дуге окружности радиусом R_B (7—8) и участка возврата фрезы в исходную точку (8—1).

Четырехполюсная спираль (рис. 8, б) образуется из сопряженных четвертей окружностей с центрами в полюсах A , B , C и D . Полюсы располагаются в вершинах квадрата со стороной, равной четверти шага спирали. Квадрат полюсов строят так, чтобы одна из его вершин (полюс A) совпала с центром окружности радиусом R_k , а стороны квадрата были параллельны осям этой окружности. Шаг спирали выбирают так же, как и при построении двухполюсной спирали.

В приведенном примере траектория фрезы включает участок ввода фрезы в предварительно подготовленное отверстие (1—2),

четырёхполусную спираль (2—9), образованную четвертями окружностей с центрами в полюсах A радиусом R_4 , B радиусами R_1 и R_5 , C радиусами R_2 и R_6 и D радиусами R_3 и R_7 , дугу окружности радиусом R_8 (9—10—11), участок отвода фрезы от окружности радиусом R_{11} по дуге окружности радиусом R_B (11—12) и участок возврата фрезы в исходную точку (12—1).

Четырёхполюсная спираль более удобна для программирования, поскольку каждая из образующих ее дуг окружностей расположена в пределах одного квадранта.

Схемы обработки пазов концевыми, торцовыми и дисковыми фрезами показаны на рис. 9. При обработке шпоночного паза, представляющего собой частный случай закрытой плоскости, предварительно сверлят отверстие для ввода концевой фрезы (рис. 9, *а*) в зону резания. Когда это невозможно или нецелесообразно, врезание осуществляют под углом $\alpha = 5 \div 10^\circ$ к обрабатываемой поверхности (рис. 9, *б*). Фрезерованию полуоткрытой плоскости паза торцевой фрезой обычно предшествует обработка боковых его сторон концевой фрезой, что превращает обрабатываемую плоскость в открытую (рис. 9, *в*). В этом случае применяется обработка открытых плоскостей по схемам «зигзаг», «петля» и «елочка». Последняя схема обработки реализуется при проточке сквозного паза трехсторонней дисковой фрезой (рис. 9, *г*).

Схемы объемной обработки

Схемы объемной обработки выбирают с учетом трудоемкости их программирования, которое преимущественно ведется с помощью ЭВМ.

Наиболее рациональным методом определения траектории инструмента для объемной обработки является метод сечения обрабатываемых поверхностей направляющими поверхностями одного семейства. Такими семействами являются пучки параллельных плоскостей, пучки плоскостей, проходящих через заданную ось, пучки соосных цилиндров и т. п. Пучки направляющих поверхностей для задания схем объемной обработки выбирают с учетом координатных перемещений рабочих органов станка, что позволяет не только упростить вычисления, но и сократить объем УП. Наиболее часто выбирают направляющие плоскости, параллельные одной из координатных плоскостей станка.

Пересечения обрабатываемых и направляющих поверхностей образуют линии контуров, относительно которых строятся участки траектории фрезы для проходов по строкам. В зависимости от схемы обработки — «зигзаг» (рис. 10, *а*) или «петля» (рис. 10, *б*) к этим участкам траектории достраиваются участки врезания, выхода фрезы и ее перехода от строки к строке. Расстояния между строками выбирают с учетом радиуса режущей части фрезы и требований к точности и шероховатости обрабатываемой поверхности. Многокоординатная (по четырем, пяти и более координатам) обработка относится к числу специализированных технологических процессов, и ее при-

менение необходимо либо оправдано лишь для ограниченной номенклатуры деталей. При многокоординатной обработке инструмент не только совершает поступательные движения, но и меняет ориентацию своей оси. На рис. 10, а показана обработка поверхности с поворотом оси инструмента вокруг некоторой фиксированной точки, а на рис. 10, б — с некоторым постоянным углом α между осью инструмента и нормалью к обрабатываемой поверхности.

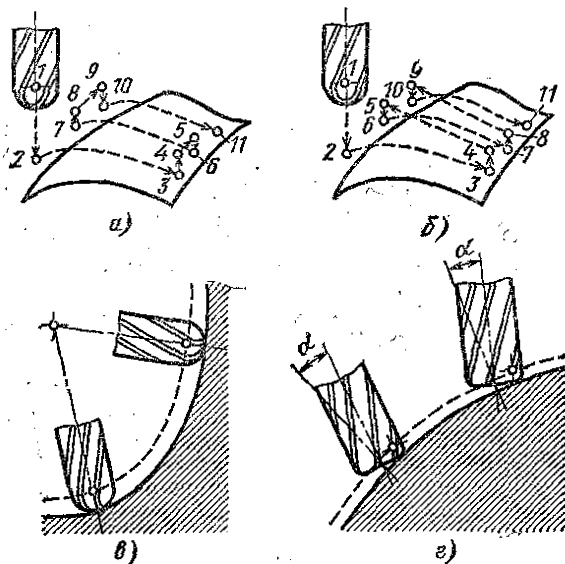


Рис. 10. Схемы обработки поверхностей

Приведенные основные схемы обработки контуров и поверхностей не исчерпывают всего многообразия приемов обработки деталей на станках с ЧПУ фрезерной группы. Эти схемы и их модификации используются для построения траектории инструмента в различных комбинациях в зависимости от конкретных условий обработки, конфигурации обрабатываемых деталей и возможностей станков.

2.2. ОБРАБОТКА ТЕЛ ВРАЩЕНИЯ

Детали, изготавливаемые на станках с ЧПУ токарной группы, делятся на ступенчатые и криволинейные. Ступенчатые детали образованы цилиндрическими и торцовыми поверхностями, на которых могут быть канавки, фаски, скругления, резьбы. Профиль криволинейных деталей состоит из отрезков прямых и дуг окружностей. Принадлежность детали к той или иной разновидности определяется особенностями обработки отдельных ее элементов.

На токарных станках применяют резцы для наружной, торцовой и внутренней обработки поверхностей деталей, проточки канавок, нарезания резьб, а также инструменты для обработки отверстий—

центровки, сверла и т. п. На рис. 11 показаны основные формы резцов: *а* — проходного подрезного; *б* — проходного упорного; *в*, *г* — контурных; *д* — чашечного; *е* — резьбового; *ж*, *з* — канавочных. Программируемой точкой движения резца служит либо его вершина *В*, либо центр закругления при вершине *Ц*. Вершиной проходного подрезного резца при продольной обработке служит точка *В*₁, а при подрезке торца — *В*₂.

Полная токарная обработка детали выполняется за один или несколько установов, для каждого из которых готовится отдельная УП.

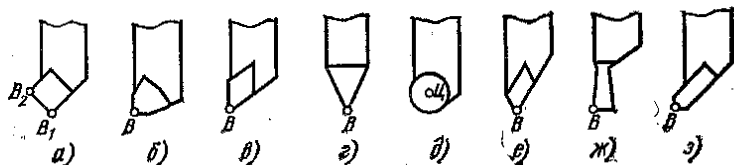


Рис. 11. Основные формы резцов

Общая типовая последовательность переходов токарной операции при обработке в патроне следующая: сверление; предварительное и окончательное подрезание торца; черновое обтачивание; черновое и чистовое растачивание; обработка внутренних канавок и резьб; чистовое обтачивание; обработка наружных и торцевых канавок и резьб [24].

В тех случаях, когда число инструментов, выбранное в соответствии с общей типовой последовательностью переходов, превышает число позиций резцедержателя или магазина инструментов, то, если позволяет требуемая точность, могут быть выполнены одним инструментом черновое и чистовое обтачивание, черновое и чистовое растачивание, а также прорезание различных канавок.

После уточнения операционного технологического процесса для каждого из переходов по типовым схемам обработки рассчитывают траектории инструментов.

Последовательность проходов

Обрабатываемую область, заключенную между контурами детали и заготовки, разделяют на зоны в соответствии с выбранной операционной технологией. Каждая зона ограничена замкнутым контуром, состоящим из основного и вспомогательного участков. Основной участок контура зоны является границей траектории инструмента при обработке зоны. Этот участок контура в отличие от вспомогательного участка остается после обработки данной зоны.

Зоны обработки можно разделить на два вида: зоны выборки массивов материала и зоны контурной обработки.

Зоны выборки делят на открытые, полуоткрытые и закрытые. Основной участок контура открытой зоны выборки ограничивается с одной стороны, а полуоткрытой и закрытой зон — соответственно

с двух и трех сторон. Частными случаями закрытых зон являются зоны протачивания канавок.

Контурные зоны состоят из припуска на полуцистовую или чистовую обработку поверхностей. Условно к контурным зонам можно отнести и зоны обработки винтовых поверхностей.

Примеры разделения обрабатываемой области на открытые (1), полуоткрытые (2), закрытые (3) и контурные (4) зоны приведены на рис. 12.

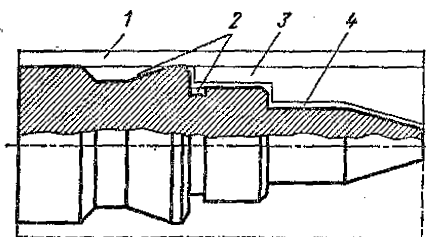


Рис. 12. Зоны обработки участков заготовки

Для обработки зон выборки применяют типовые схемы «петля», «зигзаг», «виток» и «спуск». На рис. 13 иллюстрируется принцип построения траекторий инструментов по этим схемам для открытых, полуоткрытых и закрытых зон выборки.

Схему «петля» применяют при построении траектории проходных и других резцов, работающих в одном направлении, чаще дру-

Схема	Зона		
	открытая	полуоткрытая	закрытая
Петля			
Виток, зигзаг			
Спуск			

Рис. 13. Схемы обработки зон выборки

гих, поскольку конструкция большинства резцов рассчитана на одностороннюю обработку.

Схемы «зигзаг» и «виток» применяют для обработки в основном закрытых зон выборки чашечными и другими резцами, допускаю-

щими резание в прямом и обратном направлениях. Схема «зигзаг» предусматривает окончание текущего прохода в месте начала следующего, а схема «виток» — проведение текущего прохода до основного участка контура и после отвода от обработанной поверхности — возврат инструмента на ускоренном ходу до места начала следующего прохода. Эти обе схемы следует применять совместно, проверяя на каждом проходе недоход реза до основного участка контура.

Схема «спуск» реализуется при протачивании прорезными канавочными резцами глубоких впадин и других участков обрабатываемой области, недоступных для обработки более производительным

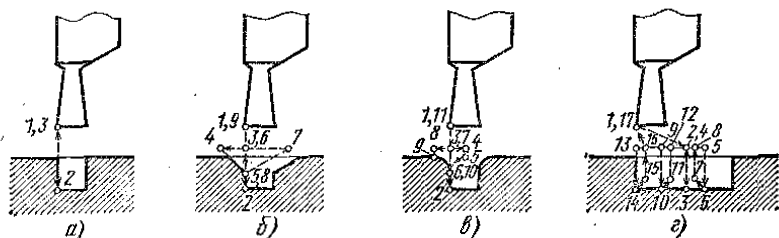


Рис. 14. Схемы обработки канавок

инструментом, например проходными резцами. На рис. 14 приведены схемы обработки: а — простой прямоугольной канавки; б — канавки с фасками; в — канавки с закруглениями канавочным резцом, ширина которого равна ширине канавки, а на рис. 14, г — схема многопроходной проточки канавки резцом, более узким, чем обрабатываемая канавка.

Обработка контурных зон связана с определением траектории центра закругления вершины режущего инструмента, эквидистантной к обрабатываемому контуру. Участки врезания и выхода резца из зоны резания при обработке контуров строятся так же, как и при фрезерной обработке.

Обработка винтовых поверхностей

Крепежные и ходовые резьбы, червяки, шнеки и другие винтовые поверхности могут обрабатываться на станках с ЧПУ, имеющих связь между поступательным и вращательным движениями рабочих органов. Эта связь в отличие от жесткой механической связи на токарно-винторезных станках с ручным управлением осуществляется синхронизацией линейной интерполяции движения подачи с вращением шпинделя с помощью установленного на нем датчика углового положения.

Принципиально на станках с ЧПУ могут быть реализованы разнообразные схемы перемещения инструмента для нарезания одно- и многозаходных цилиндрических и конических резьб, а также винтов различного профиля, с постоянными или изменяющимися по заданному закону шагами винтовых поверхностей.

При нарезании винтовой поверхности для заданных диаметра d , шага P и выбранной скорости резания v частота вращения шпинделя определяется по формуле $n = 1000v/\pi d$. После выбора соответствующего этой частоте числа n_p из ряда частот вращения шпинделя данного станка, определяется требуемая минутная подача: $s_m = P n_p$.

Все параметры режимов резания для нарезания винтовой поверхности (n_p , P , s_m) должны находиться в допустимых для конкретного

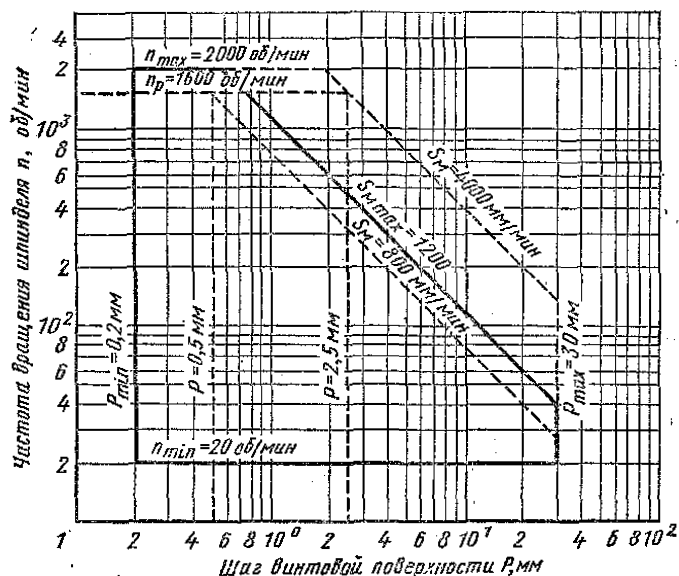


Рис. 15. Предельные значения параметров режимов резания при обработке винтовых поверхностей

станка пределах. Например, параметры нарезания резьбы $M16 \times 0,5$ при скорости резьбонарезания $v = 80$ м/мин, $n_p = 1600$ об/мин, $P = 0,5$ мм и $s_m = 800$ мм/мин лежат в допустимых пределах параметров некоторого станка ($n_p = 20 \div 2000$ об/мин, $s_{m \max} = 1200$ мм/мин, $P = 0,2 \div 30$ мм), а увеличение шага резьбы до $P = 2,5$ мм требует $s_m = 4000$ мм/мин, что превышает наибольшую минутную подачу, возможную на данном станке (рис. 15).

Технологические схемы многопроходной обработки крепежных резьб показаны на рис. 16. Их строят исходя из того, что форма резцового резца соответствует профилю обрабатываемой резьбы. Многопроходная обработка резьб состоит из черновых проходов для выборки резьбовой впадины и зачистных проходов с небольшим припуском или без него. На схеме рис. 16, а представлен общий случай радиального перемещения резцового резца под некоторым углом α к направлению винтовой поверхности. Частными случаями этой схемы являются схемы, которые предусматривают заглупление

резца перпендикулярно к направлению винтовой поверхности (рис. 16, б) и вдоль одной из сторон профиля резьбы (рис. 16, в и г). По схемам на рис. 16, д и е перемещения резца производятся поочередно вдоль обеих сторон профиля резьбы.

При нарезании резьбы по схемам рис. 16, а и б в резании участвуют одновременно обе режущие кромки резца, стружка имеет корытообразную форму, что повышает ее жесткость и тем самым увеличивает нагрузку на резец. Нарезание резьбы по схемам рис. 16, в и г обеспечивает лучшее стружкообразование, но приводит к неравномерному изнашиванию режущих кромок резца. Схемы на рис. 16, д

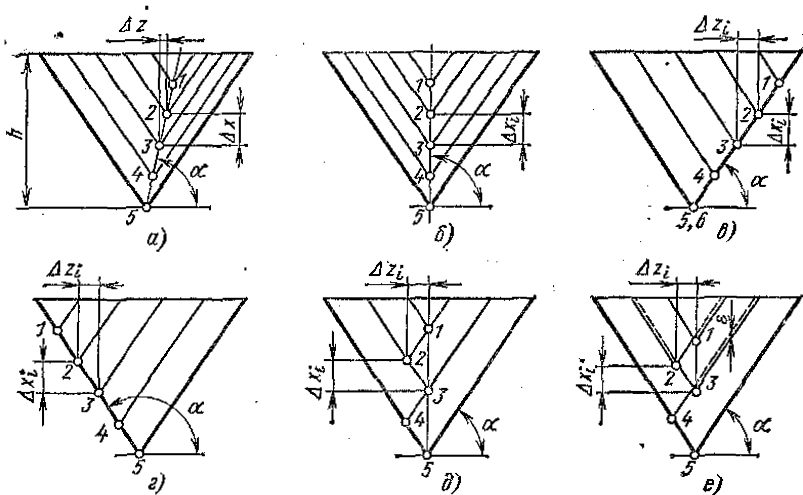


Рис. 16. Схемы обработки резьбы

и е позволяют наряду с удовлетворительным стружкообразованием достигнуть равномерности изнашивания обеих кромок резца. Резьбонарезание по схеме рис. 16, е предусматривает образование зазора между проходами е, исключаящего трение ненагруженной кромки резца, что повышает стойкость инструмента.

Разделение припуска на черновые проходы является самостоятельной задачей, решаемой с учетом требований к параметрам режима резьбонарезания.

Простейшим решением, наиболее часто применяемым на практике, является выбор одинаковой глубины резания t на всех черновых проходах: $t = h/k$, где h — глубина впадины резьбы; k — число черновых проходов.

Такое равномерное разделение припуска приводит к увеличению сечения стружки на каждом последующем проходе и, следовательно, к увеличению нагрузки на резец. В этом случае допустимую глубину прохода выбирают из условия прочности резца на последнем черновом проходе, а все предшествующие проходы проводят недогруженным резцом.

Постоянство сечения стружки на i -м проходе достигается разделением припуска по закону геометрической прогрессии:

$$t_i = \frac{h}{\sqrt{k}} (\sqrt{i} - \sqrt{i-1}).$$

Нагрузка на единицу длины режущей кромки более равномерна при разделении припуска на проходы по закону арифметической прогрессии:

$$t_i = \frac{2h}{k} \left(1 - \frac{i}{k+1} \right).$$

Приращение координаты Δz вершины резбового реза на i -м проходе для схем на рис. 16, *а, б, в, г* определяется по формуле $\Delta z_i = t_i \operatorname{ctg} \alpha$, а для схем на рис. 16, *д и е* — по формулам $\Delta z_i = -t_i \operatorname{ctg} \alpha$ (при четных i), $\Delta z_i = t_{i-1} \operatorname{ctg} \alpha$ (при нечетных i , кроме $i = 1$), $\Delta z_1 = 0$.

Приращение координаты Δx для всех схем, кроме схемы на рис. 16, *е*, $\Delta x_i = -t_i$, а для схемы на рис. 16, *е* с целью образования зазора в первое приращение увеличивают на $(k-1)\epsilon$, а последующие уменьшают на ϵ : $\Delta x_1 = -t_1 - (k-1)\epsilon$; $\Delta x_i = -t_i + \epsilon$.

2.3. ОБРАБОТКА ОТВЕРСТИЙ

На станках с ЧПУ сверлильно-расточной группы получают отверстия, предназначенные для базирования и крепления присоединительных деталей, базирования заготовок и т. п. В основном это крепежные отверстия небольшого диаметра, получаемые перемещениями вращающихся инструментов вдоль осей отверстий.

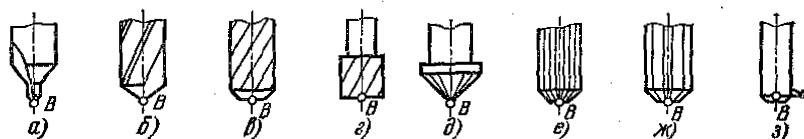


Рис. 17. Основные типы инструментов для обработки отверстий

Основные типы инструментов, применяемых на сверлильных станках с ЧПУ, показаны на рис. 17: *а* — центровка; *б* — сверло; *в* — зенкер; *г* — цековка; *д* — зенковка; *е* — развертка; *ж* — метчик; *з* — расточная оправка. Программируемой точкой этих инструментов служит вершина *В*, лежащая на оси вращения.

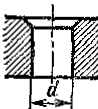
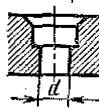
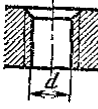
Последовательность переходов

Последовательность переходов сверлильной операции выбирают с учетом конфигурации отверстий, допустимых отклонений формы и относительного положения осей отверстий, числа групп одинаковых отверстий на каждой из сторон детали и возможностей станка с ЧПУ. Эти возможности характеризуются точностью и временем позиционирования.

рования стола, смены инструмента и поворота стола, а также числом позиций револьверной головки или магазина инструментов.

В состав сверлильной операции входят переходы обработки отдельных отверстий. Типовые переходы для крепежных отверстий наиболее распространенных видов приведены в табл. 2.

Таблица 2

Переходы												
	Квалитет											
	H7		H8—H10		H11		H12		H13—H14		H18	
	при диаметре, мм											
	До 10	10—15	15—30	До 15	15—30	До 15	15—30	До 15	15—30	До 15	15—30	До 16
Центрование	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Сверление	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Рассверливание		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Зенкерование												
Цекование												
Зенкование	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Развертывание предварительное		+	+									
Развертывание окончательное	+	+	+	+	+				+	+	+	+
Нарезание резьбы												

Каждой технологической схеме соответствует определенный набор инструментов. При обработке отверстий различных видов инструментальная наладка комплектуется так, чтобы обеспечить проведение всех переходов операции. Если число выбранных инструментов превышает число позиций на станке, то либо некоторые инструменты заменяют комбинированными, либо обработку разделяют на две операции.

Так как основное время сверлильной операции занимает не резание, а вспомогательные перемещения и смена инструментов, общую последовательность переходов определяют для всей совокупности отверстий.

Возможны два основных варианта обработки отверстий: параллельная, когда каждым инструментом обрабатываются все отверстия, подлежащие обработке данным инструментом, затем производится его смена и цикл повторяется; последовательная, когда каждое

отверстие обрабатывается всеми предусмотренными соответствующей технологической схемой инструментами, после чего производится позиционирование для обработки следующего отверстия.

Вариант последовательности переходов выбирают исходя из времени обработки и допусков на межцентровые расстояния отверстий.

Зависящая от варианта переменная доля времени обработки отверстий складывается из времен позиционирования инструментов над отверстиями и смены инструментов.

Для параллельной обработки эта переменная доля времени

$\tau_I = \sum_{i=1}^N t_{см i} + M \sum_{j=1}^M t_{поз j}$, а для последовательной обработки

$$\tau_{II} = M \sum_{i=1}^N t_{см i} + \sum_{j=1}^M t_{поз j},$$

где N — число инструментов; M — число отверстий; $t_{см i}$ — время смены i -го инструмента ($i = 1, 2, \dots, N$); $t_{поз j}$ — продолжительность позиционирования инструмента над j -м отверстием ($j = 1, 2, \dots, M$).

Так как

$$\tau_{II} - \tau_I = (M - 1) \left(\sum_{i=1}^N t_{см i} - \sum_{j=1}^M t_{поз j} \right),$$

можно заключить, что если суммарное время смены инструментов больше, чем время их позиционирования, то производительнее параллельная обработка отверстий, и наоборот.

Обработка отверстий с жесткими допусками на межцентровые расстояния ведется, как правило, последовательно. Если при этом параллельная обработка более производительна, то предварительные переходы (центрование, сверление, зенкерование, цекование) выполняют по первому варианту (параллельная обработка), а окончательные (зенкерование, развертывание, нарезание резьбы) — по второму варианту (последовательная обработка).

Последовательность обхода отверстий выбирают из условия минимизации суммарного времени позиционирований или длины пути обхода с учетом характера перемещений (раздельно по осям или одновременно по двум или трем осям).

Обработка отверстий корпусных деталей ведется на сверлильно-расточно-фрезерных станках с ЧПУ совместно с обработкой других поверхностей этих деталей. Корпусные детали можно рассматривать как сочетание элементарных поверхностей, что облегчает формализацию разработки технологического процесса для программирования их обработки.

Отверстия корпусных деталей делят на основные, предназначенные для базирования устанавливаемых в корпусе деталей, вспомогательные, в том числе крепежные, и свободные, которые служат для удобства обработки, монтажа, смазки и ремонта. Основные отверстия могут иметь канавки, фаски, выточки. Они могут быть гладкими или ступенчатыми, односторонними и двусторонними, могут располагаться в одной плоскости или соосно в нескольких параллельных стенках. Обрабатываемые плоскости корпусных деталей распола-

гаются перпендикулярно, параллельно или под углом к оси шпинделя.

При обработке корпусных деталей рекомендуется следующая последовательность переходов: 1) черновое и получистовое фрезерование открытых плоскостей, перпендикулярных оси шпинделя, торцовыми фрезами; 2) сверление и рассверливание сквозных и глухих основных отверстий; 3) фрезерование отверстий, пазов и других выемок на внешних поверхностях концевыми фрезами; 4) фрезерование полуоткрытых и закрытых плоскостей, перпендикулярных оси шпинделя, торцовыми и концевыми фрезами; 5) черновое растачивание и зенкерование основных отверстий расточными резцами и зенкерами; 6) фрезерование или растачивание канавок, фасок и выточек, расположенных в основных отверстиях, концевыми, угловыми, дисковыми и другими фрезами, канавочными, фасочными и другими резцами, зенковками; 7) фрезерование пазов и других выемок на полуоткрытых и закрытых плоскостях концевыми и шпоночными фрезами; 8) сверление, зенкерование, зенкование и нарезание резьб больших крепежных отверстий; 9) фрезерование фасок угловыми фрезами; 10) чистовое фрезерование открытых плоскостей торцовыми фрезами; 11) растачивание и развертывание основных отверстий; 12) обработка отверстий под базовые штифты и втулки сверлами, расточными резцами, развертками; 13) обработка канавок и других выемок, расположенных в отверстиях, расточными резцами, дисковыми трехсторонними фрезами и другим инструментом; 14) обработка обратных зенковок, фасок и других поверхностей, связанных с основными отверстиями, дисковыми и угловыми фрезами, канавочными и фасочными резцами; 15) центрование, сверление, зенкование и нарезание резьб мелких крепежных отверстий [25].

Схемы обработки отверстий

Технологические переходы обработки отверстий выполняют по типовым схемам, определяющим отдельные ходы для построения участков траектории инструмента и технологические команды. Остальные участки траектории для осуществления вспомогательных переходов, связанных со сменой и подводом инструментов к обрабатываемым отверстиям, формируют при выборе последовательности обработки.

Большинство переходов сверлильной операции выполняется за один проход, участок траектории инструмента для которого начинается и заканчивается в точке на оси отверстия, в которую позиционируется вершина инструмента перед обработкой отверстия. К многопроходным технологическим переходам условно можно отнести обработку глубоких отверстий с периодическими выводами сверла и обработку отверстий в разных стенках.

Траектория инструмента в пределах прохода состоит из участков рабочего и вспомогательного ходов.

Рабочий ход в полном наборе содержит недоход, участок резания и перебег. При обработке глухих отверстий (в отличие от сквозных) участок перебега отсутствует.

Недоход обычно принимают равным 5—10 мм для необработанных поверхностей и 1—3 мм для предварительно обработанных поверхностей.

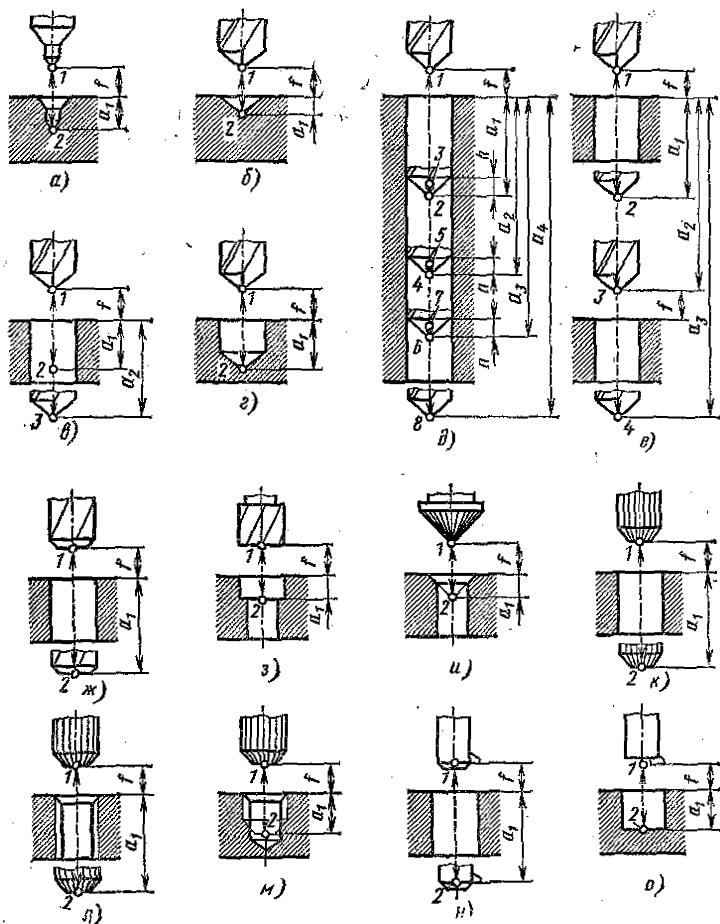


Рис. 18. Схемы обработки отверстий

Перебег зависит от размеров заборного конуса инструмента и принимается больше его длины на 1—3 мм.

На участке резания траектория инструмента может иметь промежуточные опорные точки, в которых изменяется частота вращения шпинделя и минутная подача или выполняются, например, включение, выключение или реверс вращения шпинделя.

Вспомогательные ходы в пределах прохода необходимы для быстрого подвода инструмента в ранее обработанное отверстие и его возврата в исходную позицию.

Таблица 3

№ схемы	Схемы обработки отверстий по рис 18	Последовательность ходов и технологических команд	Участки траек- тории
1	а, б, г, ж, к, и, о	Рабочий ход на расстояние $f + a_1$ Быстрый отвод в исходное положение	1—2 2—1
2	в	Рабочий ход на расстояние $f + a_1$ Изменение подачи Рабочий ход на расстояние $a_2 + a_1$ Быстрый отвод в исходное положение	1—2 2—3 3—1
3	з, и	Рабочий ход на расстояние $f + a_1$ Выстой Быстрый отвод в исходное положение	1—2 2—1
4	л, м	Рабочий ход на расстояние $f + a_1$ Реверс шпинделя Рабочий ход в исходное положение Восстановление направления вращения шпинделя	1—2 2—1
5	д	Рабочий ход на расстояние $f + a_1$ Отвод на расстояние n Рабочий ход на расстояние $a_2 - a_1 + n$ Отвод на расстояние n Рабочий ход на расстояние $a_3 - a_2 + n$ Отвод на расстояние n Рабочий ход на расстояние $a_4 - a_3 + n$ Быстрый отвод в исходное положение	1—2 2—3 3—4 4—5 5—6 6—7 7—8 8—1
6	д	Рабочий ход на расстояние $f + a_1$ Быстрый отвод в исходное положение Быстрый ход на расстояние $f + a_1 - n$ Рабочий ход на расстояние $a_2 - a_1 + n$ Быстрый отвод в исходное положение Быстрый ход на расстояние $f + a_2 - n$ Рабочий ход на расстояние $a_3 - a_2 + n$ Быстрый отвод в исходное положение Быстрый ход на расстояние $f + a_3 - n$ Рабочий ход на расстояние $a_4 - a_3 + n$ Быстрый отвод в исходное положение	1—2 2—1 1—3 3—2 4—1 1—5 5—6 6—1 1—7 7—8 8—9
7	е	Рабочий ход на расстояние $f + a_1$ Быстрый ход на расстояние $a_2 - a_1$ Рабочий ход на расстояние $a_3 - a_2$ Быстрый отвод в исходное положение	1—2 2—3 3—4 4—1
8	и, о	Рабочий ход на расстояние $f + a_1$ Рабочий ход в исходное положение	1—2 2—1

№ схемы	Схемы обработки отверстий по рис. 18	Последовательность ходов и технологических команд	Участки траек- тории
9	н, о	Рабочий ход на расстояние $f + a_1$ Останов шпинделя Быстрый отвод в исходное положение Включение шпинделя	1—2 2—1
10	н, о	Рабочий ход на расстояние $f + a_1$ Останов шпинделя Отвод в исходное положение вручную Включение шпинделя	1—2 2—1
11	н, о	Рабочий ход на расстояние $f + a_1$ Выстой Останов шпинделя Отвод в исходное положение вручную Включение шпинделя	1—2 2—1
12	н, о	Рабочий ход на расстояние $f + a_1$ Выстой Рабочий ход в исходное положение	1—2 2—1

При программировании обработки отверстий выбирают общий для всех переходов обработки группы отверстий недоход f и для каждого i -го перехода вычисляют величину a_i как сумму длин участка резания и перебега.

На рис. 18 показаны типовые схемы центрования комбинированным (рис. 18, а) и спиральным (рис. 18, б) сверлами, сверления сквозных (рис. 18, в) и глухих (рис. 18, г) отверстий, глубокого сверления (рис. 18, д) и сверления в разных стенках (рис. 18, е), зенкерования (рис. 18, ж), цекования (рис. 18, з) и зенкования (рис. 18, и) отверстий под головки винтов, развертывания (рис. 18, к), нарезания резьбы метчиком в сквозных (рис. 18, л) и глухих (рис. 18, м) отверстиях, а также расточки сквозных (рис. 18, н) и глухих (рис. 18, о) отверстий.

Типовые последовательности ходов и технологических команд для перечисленных схем приведены в табл. 3. Большинство этих последовательностей реализуется в стандартных циклах и подпрограммах.

Наиболее трудоемким этапом подготовки УП является расчет траектории инструмента и скоростей движения рабочих органов станка, реализующих эту траекторию. Расчет УП ведется на основании попереходной технологии.

3.1. СИСТЕМЫ КООРДИНАТ

В процессе подготовки УП для станков с ЧПУ деталь рассматривается в системе СПИД (станок—приспособление—инструмент—деталь). Заготовка устанавливается на станке с помощью приспособления, которое фиксирует положение будущей детали относительно начального положения рабочих органов станка, определяющих и положение режущего инструмента.

Траектория инструмента строится относительно контура детали, а затем преобразуется в движение соответствующих рабочих органов станка. Для этого используются системы координат детали, станка и инструмента.

Система координат детали

Система координат детали служит для пересчета размеров, заданных на чертеже детали, в координаты опорных точек ее контура. В этой же системе координат производится расчет опорных точек траектории инструмента. Опорными здесь названы точки начала, конца, пересечения или касания геометрических элементов, из которых образованы линии контура детали и траектории инструмента.

В качестве системы координат детали преимущественно принимается правая прямоугольная система (рис. 19, а). Расстояния x , y , z от точки до трех взаимно перпендикулярных координатных плоскостей, взятые с определенным знаком, являются соответственно абсциссой, ординатой и аппликатой этой точки в данной системе координат. Реже применяют цилиндрическую и сферическую системы координат. В цилиндрической системе (рис. 19, б) координатами точки являются радиус-вектор ρ , центральный угол проекции точки на основную плоскость φ и аппликата z . В сферической системе координат (рис. 19, в) точка задается радиус-вектором r , долготой φ и полярным углом θ . Частными случаями объемных трехкоординатных систем являются плоские двухкоординатные системы — прямоугольная и полярная.

При выборе системы координат детали желательно для упрощения вычислений координатные плоскости совместить с поверхностями технологических баз или расположить их параллельно; координатные оси совместить с размерными линиями, относительно которых

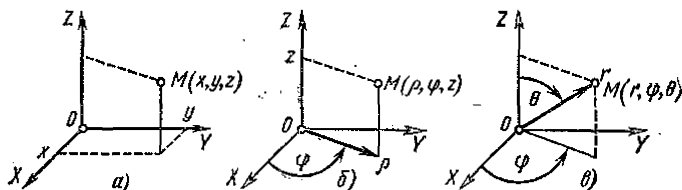


Рис. 19. Системы координат

проставлено наибольшее число размеров, или с осями симметрии; начало системы координат расположить так, чтобы все или большинство точек контура детали имели положительные значения координат; направление координатных осей выбрать таким же, как и в системе координат станка.

Система координат станка

Система координат станка является главной расчетной системой, в которой определяются предельные перемещения, начальные и текущие положения рабочих органов станка.

Положения рабочих органов станка характеризуют их базовые точки, выбираемые с учетом конструктивных особенностей отдельных управляемых по программе узлов станка. Так, базовыми служат следующие точки: для шпиндельного узла — точка пересечения торца шпинделя с осью его вращения; для суппорта токарно-револьверного станка — центр поворота резцедержателя в плоскости, параллельной направляющим суппорта и проходящей через ось вращения шпинделя, или точка базирования инструментального блока; для крестового стола — точка пересечения его диагоналей или специальная настроечная точка, определяемая конструкцией приспособления; для поворотного стола — центр поворота на зеркале стола и т. д.

Систему координат станка, выбранную в соответствии с рекомендациями комитета ИСО, принято называть стандартной. Стандартная система координат (ГОСТ 23597—79) представляет собой правую прямоугольную декартову систему координат. В правой прямоугольной системе положительные направления осей координат определяются по правилу правой руки. Большой палец, как это изображено на рис. 20, а, указывает положительное направление оси абсцисс (X), указательный — оси ординат (Y) и средний — оси аппликат (Z). Положительные направления вращений вокруг этих осей определяются другим правилом правой руки. Согласно этому правилу, если расположить большой палец по направлению оси, то остальные согнутые пальцы укажут положительное направление

вращения (рис. 20, б). Начала отсчета углов поворота и положительные направления вращений A , B и C вокруг координатных осей X ; Y и Z показаны на рис. 20, в.

Ориентация осей стандартной системы координат станка связывается с направлением движения при сверлении на сверлильных, расточных, фрезерных и токарных станках. Направление вывода сверла из заготовки принято в качестве положительного для оси Z . Ось X перпендикулярна к оси Z и параллельна плоскости установки заготовки. Если такому определению соответствуют две оси, то за ось X принимают ту, вдоль которой возможно большее перемещение узла станка. При известных осях X и Z ось Y однозначно определяется из условия расположения осей в правой прямоугольной системе координат.

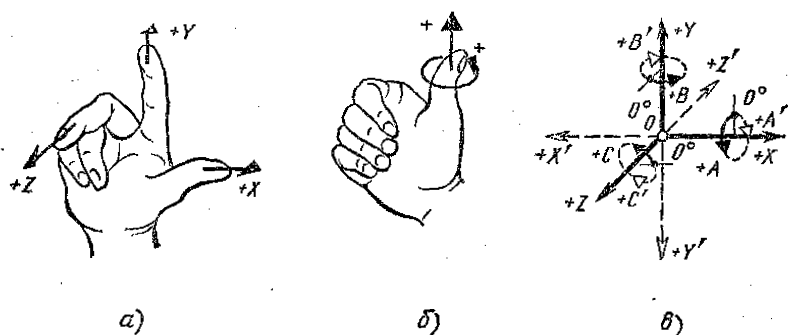


Рис. 20. Оси и направления вращения в стандартной системе координат

Начало стандартной системы координат станка обычно совмещается с базовой точкой узла, несущего заготовку, зафиксированного в таком положении, при котором все перемещения рабочих органов станка могли бы описываться положительными координатами.

Стандартной системой координат токарного станка служит двухкоординатная система $X_c Z_c$. За начало этой системы принимают базовую точку шпиндельного узла. Положительные направления осей системы координат токарного станка выбирают в соответствии с расположением инструмента на станке. На рис. 21 показано направление осей при расположении инструмента над или за осью вращения шпинделя (рис. 21, а) и под или перед осью (рис. 21, б).

В качестве стандартной для станков сверлильной, расточной и фрезерной групп применяется трехкоординатная система $X_c Y_c Z_c$. За начало этой системы координат принимают базовую точку стола в одном из его крайних положений. Направления координатных осей этой стандартной системы связаны с конструкцией станка. На рис. 21, в показано направление осей для станков с вертикальным, а на рис. 21, г — с горизонтальным расположением шпинделя.

Движения рабочих органов станка задаются в УП координатами или приращениями координат базовых точек в системе координатных

осей, определенных в стандартной системе координат. Система координатных осей рабочих органов станка представляет собой совокупность отдельных управляемых по программе координат, каждая из которых закреплена за конкретным рабочим органом станка и имеет индивидуальное обозначение, направление и начало отсчета.

Для обеспечения общности методов подготовки программ рекомендации комитета ИСО регламентируют обозначения и направления осей координат рабочих органов станка.

Координатные оси рабочих органов станка, несущие инструмент, обозначаются буквами X , Y и Z . Если на станке имеется несколько рабочих органов для перемещения инструментов, то указанные обозначения относятся к первичным осям. Для обозначения вторичных осей, параллельных первичным, используются буквы U , V и W ,

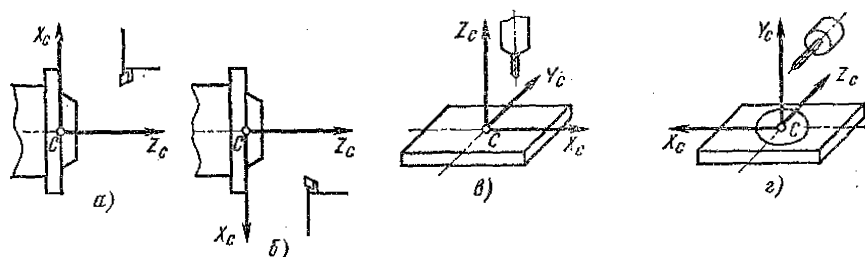


Рис. 21. Направление осей системы координат станка

и для третичных — P , Q и R . Координатные оси рабочих органов станка, перемещающих заготовку, направлены противоположно соответствующим осям рабочих органов, перемещающих инструмент, и их обозначают теми же буквами со штрихами.

Обозначение угловых перемещений рабочих органов станка вокруг координатных осей также зависит от того, что несет данный рабочий орган — инструмент или заготовку. Поворот рабочего органа с инструментом вокруг координатных осей X , Y и Z обозначается соответственно буквами A , B и C . Вращение рабочего органа станка с заготовкой вокруг координатных осей X' , Y' и Z' обозначается буквами A' , B' и C' . Начала отсчетов углов поворота и положительные направления вращений для рассмотренных случаев показаны на рис. 20, в. Для обозначения вторичных угловых движений вокруг специальных осей используют буквы D и E .

На рис. 22 приведены схемы оборудования с ЧПУ, указаны обозначения и положительные направления движений рабочих органов относительно стандартной системы координат, связанной с обрабатываемым изделием. Приведены станки токарно-револьверный (рис. 22, а), лоботокарный (рис. 22, б), токарно-карусельный (рис. 22, в), консольно-фрезерные вертикальный (рис. 22, г) и горизонтальный (рис. 22, д), продольно-фрезерные вертикальный (рис. 22, е), двухстоечный (рис. 22, ж) и с подвижным порталом (рис. 22, з), фрезерный с поворотным столом и поворотной бабкой (рис. 22, и), горизонтально-расточные с неподвижной (рис. 22, к)

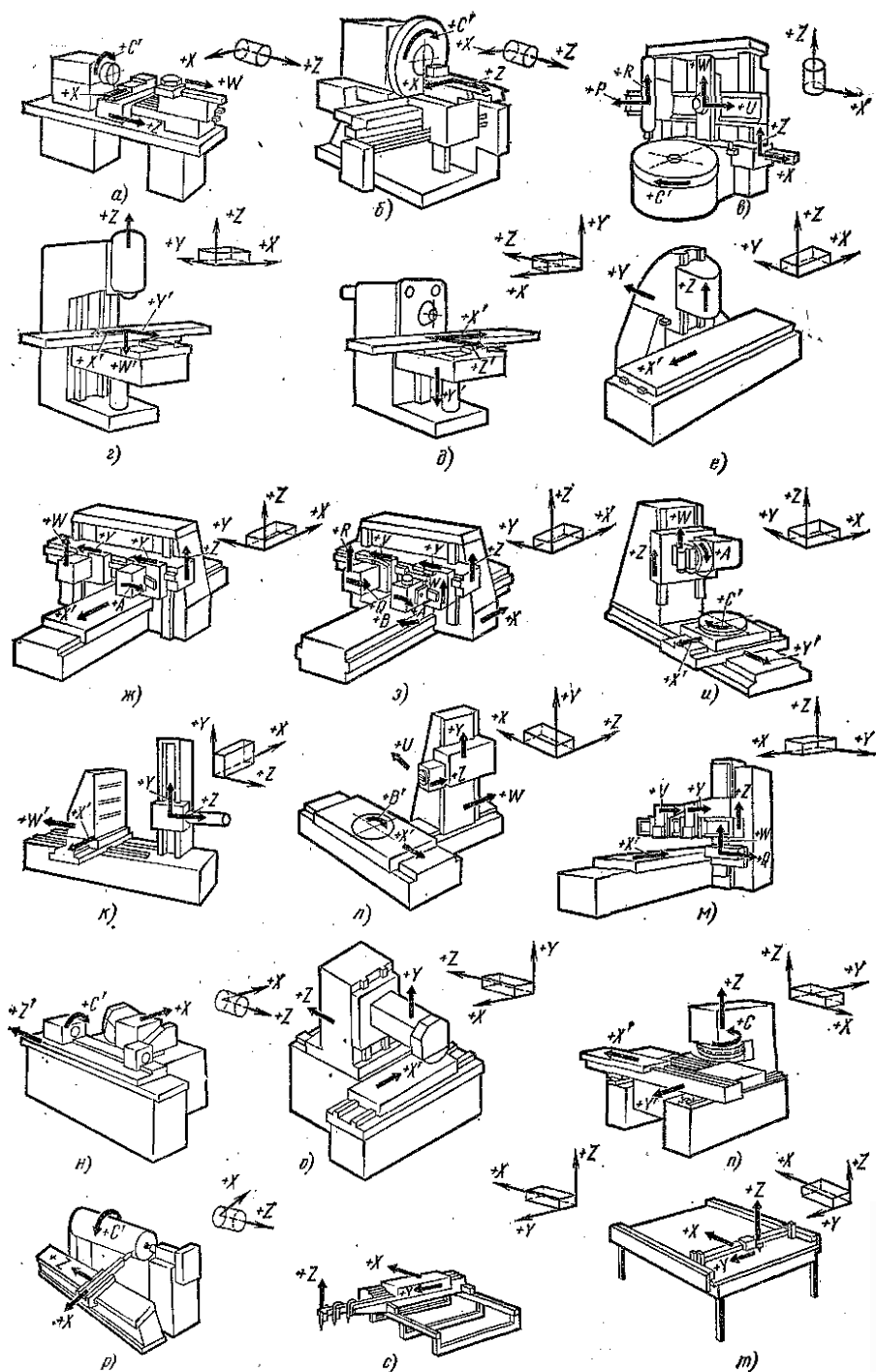


Рис. 22. Оборудование с ЧПУ

и продольно-подвижной передней стойкой (рис. 22, л), продольно-строгальный (рис. 22, м), кругло- (рис. 22, н) и плоскошлифовальный (рис. 22, о), дыропробивной пресс с револьверной головкой (рис. 22, п), намоточная машина (рис. 22, р), газорезательная машина (рис. 22, с) и графопостроитель (рис. 22, т).

Описанный принцип выбора обозначений и положительных направлений координатных осей рабочих органов станка позволяет технологу-программисту не учитывать, что несет программируемый рабочий орган — инструмент или заготовку. При подготовке УП всегда исходят из того, что инструмент движется относительно неподвижной заготовки.

В УЧПУ направление координатных осей рабочих органов станка отображается так, что если для реализации запрограммированного движения инструмента относительно заготовки необходимо переместить рабочий орган с инструментом, то это движение выполняется с заданным в УП знаком, а если требуется переместить рабочий орган с заготовкой, то знак направления движения изменяется на противоположный.

При программировании и наладке станка для работы по УП используют некоторые характерные точки, называемые в ГОСТ 20523—80 нулевой, исходной и фиксированной точками станка.

Нулевая точка — точка, принятая за начало системы координат станка. Эта точка определена относительно конструктивных элементов станка. Относительно нулевой точки станка задаются в УП абсолютные размеры перемещений рабочих органов станка, если начало отсчета перемещений не смещено с помощью «плавающего нуля». «Плавающий ноль» — это свойство УЧПУ помещать начало отсчета перемещений рабочего органа в любое положение относительно нулевой точки станка.

Исходная точка — точка, определенная относительно нулевой точки станка и используемая для начала работы по УП. С исходными точками станка совмещаются базовые точки рабочих органов перед началом работы станка по УП. Исходные точки станка выбирают из условий минимизации вспомогательных ходов, обеспечения безопасности смены инструмента и удобства закрепления заготовки на станке.

Фиксированная точка — точка, определенная относительно нулевой точки станка и используемая для определения положения рабочего органа станка. Совмещение базовых точек рабочих органов с фиксированными точками станка производится с помощью смонтированных в узлы станка специальных датчиков положения. В фиксированную точку станка рабочий орган приводится в два этапа: сначала в зону действия датчика по команде с пульта УЧПУ или по заданному в УП перемещению, а затем с высокой точностью непосредственно в фиксированную точку станка, что позволяет исключить ранее накопленную погрешность положения рабочего органа. Так как современные станки с ЧПУ достаточно надежно обрабатывают заданные в УП перемещения, фиксированные точки станка используют в качестве исходных точек только после переналадки станка

перед изготовлением первой детали партии, а для последующих деталей партии исходные точки выбирают по возможности ближе к заготовке.

Система координат инструмента

Система координат инструмента предназначена для задания положения его режущей части относительно державки.

Инструмент описывается в рабочем положении в сборе с державкой (рис. 23). При описании всего разнообразия инструментов для станков с ЧПУ удобно использовать единую систему координат инструмента X_H, Z_H , оси которой параллельны соответствующим

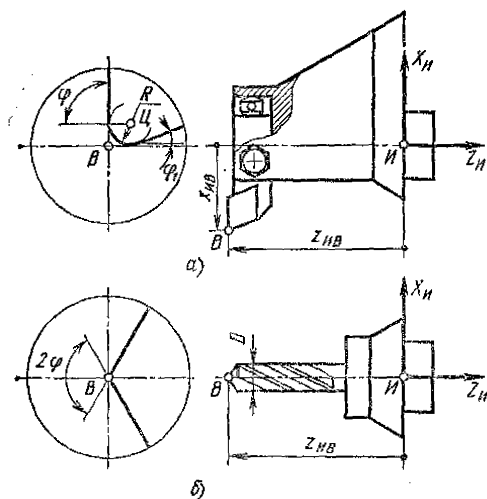


Рис. 23. Система координат инструмента

осям стандартной системы координат станка и направлены в ту же сторону. Начало системы координат инструмента принимают в базовой точке инструментального блока, выбираемой с учетом особенностей его установки на станке.

Режущая часть инструмента характеризуется положением его вершины и режущих кромок. Вершина инструмента задается радиусом закругления R и координатами x_{IB} и z_{IB} ее настроечной точки B , положение которой относительно начала системы координат инструмента обеспечивается настройкой инструментального блока вне станка на специаль-

ном приспособлении. Положение режущей кромки реза задается главным φ и вспомогательным φ_1 углами в плане (рис. 23, а), а для сверл — углом 2φ при вершине и диаметром D (рис. 23, б). Вершина вращающегося инструмента лежит на оси вращения, и поэтому для ее задания достаточно указать аппликату z_{IB} .

Настроечная точка инструмента B обычно используется в качестве расчетной при вычислении траектории инструмента, элементы которой параллельны координатным осям. Расчетной точкой криволинейной траектории служит центр закругления C при вершине инструмента.

Связь систем координат

Связь систем координат детали, станка и инструмента осуществляется через базовые точки рабочих органов станка, несущих заготовку и инструмент. На токарном станке начало системы координат инструмента I принимают в базовой точке инструментального

блока в его рабочем положении (рис. 24). Положения базовых точек инструментальных блоков, устанавливаемых на одном резцедержателе, определяют относительно его центра P приращения координат $x_{ри}$ и $z_{ри}$.

На одном суппорте может быть несколько резцедержателей, и в зависимости от характера работ (в патроне или в центрах) резцедержатель может занимать на суппорте токарного станка различные положения. В связи с этим центр резцедержателя должен быть определен приращениями координат $x_{кр}$ и $z_{кр}$ относительно базовой точки суппорта K . В частном случае, когда на суппорте находится один непостоянный резцедержатель, базовая точка суппорта может быть совмещена с центром поворота резцедержателя или с базовой точкой инструментального блока.

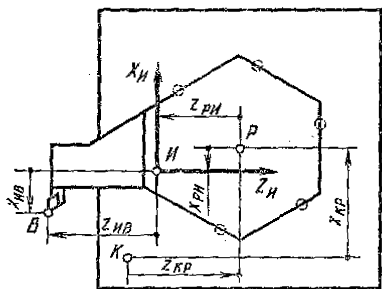


Рис. 24. Базовые точки в системе координат инструмента

Диапазон перемещений рабочих органов станка задается предельными координатами базовых точек этих органов в стандартной системе координат станка. На рис. 25 заштрихован диапазон перемещений суппорта токарного станка, базовая точка которого может находиться в любой точке плоскости, ограниченной абсциссами $x_{СК \min}$ и $x_{СК \max}$ и аппликатами $z_{СК \min}$ и $z_{СК \max}$.

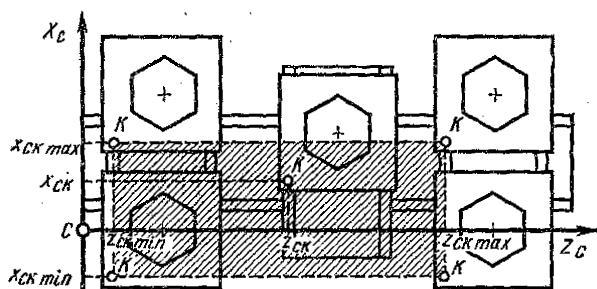


Рис. 25. Диапазон перемещений базовой точки суппорта токарного станка

С учетом базовых точек суппорта K и поворотного резцедержателя P вершина инструмента B , заданная координатами $x_{ив}$ и $z_{ив}$ в системе координат инструмента, определяется координатами $x_{св}$ и $z_{св}$ в системе координат станка:

$$x_{св} = x_{ив} + x_{ри} + x_{кр} + x_{ск};$$

$$z_{св} = z_{ив} + z_{ри} + z_{кр} + z_{ск},$$

или, если базовая точка суппорта с кареткой выбрана в базовой точке инструментального блока,

$$x_{св} = x_{ив} + x_{ис}; \quad z_{св} = z_{ив} + z_{ис}.$$

При закреплении заготовки на станке технологическая база для обработки детали в данном установе совмещается с соответствующей опорной поверхностью крепежного приспособления. Для того чтобы увязать между собой системы координат детали и станка, следует задать в этих системах базовую точку B (рис. 26), определяющую положение совмещаемых поверхностей.

Связь систем координат детали и станка при токарной обработке иллюстрирует рис. 26. Так как оси вращения шпинделя токарного станка и обрабатываемой детали совпадают, достаточно для увязки этих систем координат определить аппликату точки D начала системы координат детали в системе координат станка. Для случая, когда оси аппликат систем координат детали и станка направлены

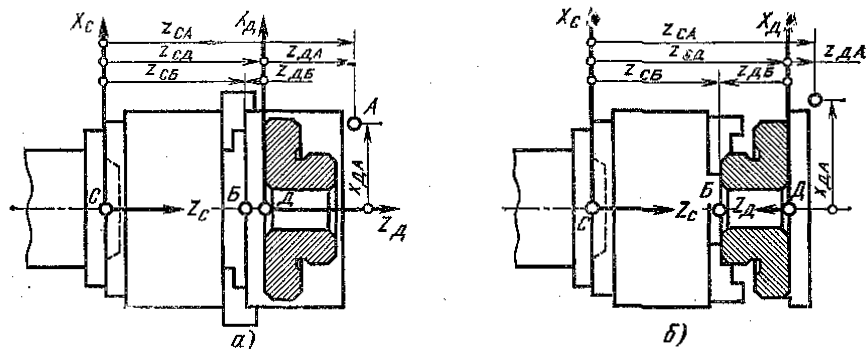


Рис. 26. Связь систем координат детали и станка при токарной обработке

в одну сторону (рис. 26, а), $z_{CD} = z_{CB} - z_{DB}$, где z_{CB} и z_{DB} — аппликаты базовой точки B в системах координат станка и детали.

Если же оси аппликат этих систем направлены в противоположные стороны (рис. 26, б), то $z_{CD} = z_{CB} + z_{DB}$. Тогда некоторая точка A , заданная координатами x_{DA} и z_{DA} в системе координат детали, определяется координатами x_{CA} и z_{CA} в системе координат станка:

$$x_{CA} = x_{DA}; \quad z_{CA} = z_{CD} \pm z_{DA},$$

где знак «+» ставится при одинаковых, а знак «—» — при противоположных направлениях осей аппликат обеих систем координат.

На рис. 27 изображены все рассмотренные системы координат для случая обработки на токарном станке. Пунктиром показана последовательность перевода в систему координат станка начальной точки B траектории инструмента ($B-I-P-K-C$) и текущей точки A этой траектории ($A-D-B-C$).

На рис. 28 приведены системы координат детали, станка и инструмента при обработке на сверлильно-расточном станке. Связь этих систем координат осуществляется также через базовые точки рабочих органов станка и крепежного приспособления. Начало системы координат станка $X_C Y_C Z_C$ принято в базовой точке Π крестового поворотного стола в крайнем левом и дальнем положении.

нии, если смотреть на него со стороны шпиндельного узла. Настроечная точка инструмента B , заданная в системе координат инструмента $X_H Z_H$, переводится в систему координат станка через базовую точку

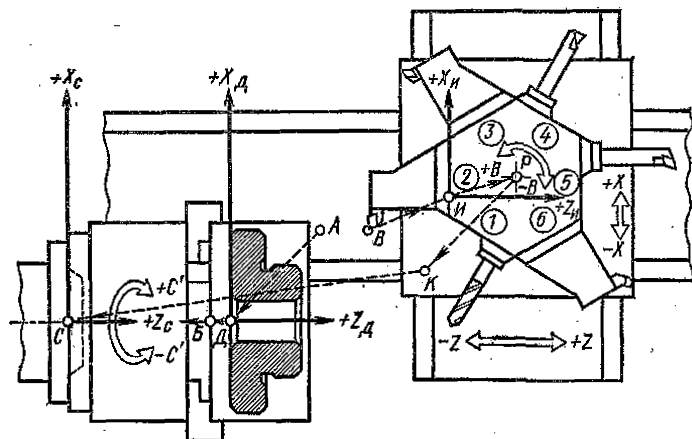


Рис. 27. Связь систем координат детали, станка и инструмента при токарной обработке

шпиндельного узла III , с которой совмещено начало H системы координат инструмента ($B-H-C$). Текущая точка траектории инструмента A переводится из системы координат детали $X_D Y_D Z_D$ в систему координат станка через базовую точку B крепежного приспособления ($A-D-B-C$).

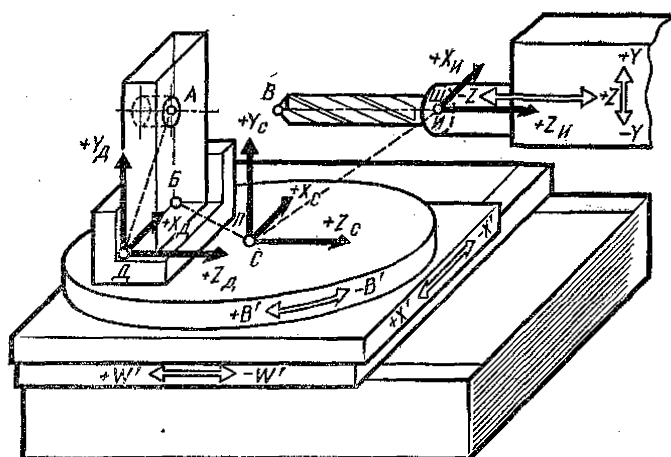


Рис. 28. Связь систем координат детали, станка и инструмента при обработке на сверлильно-расточном станке

Такая связь систем координат детали, станка и инструмента позволяет выдерживать заданную точность при переустановках заготовки и учитывать диапазон перемещений рабочих органов станка при расчете траектории инструмента в процессе подготовки УП.

Наладка станка для работы по УП упрощается, если нулевая точка станка находится в начале стандартной системы координат станка, базовые точки рабочих органов приведены в фиксированные точки станка, а траектория инструмента задана в УП перемещениями базовой точки рабочего органа, несущего инструмент, в системе координат станка. Это возможно, если базовая точка крепежного приспособления определена в системах координат детали и станка. Если же траектория инструмента задана в УП перемещениями вершины инструмента в системе координат детали, то для реализации такой УП используют «плавающий ноль», что усложняет обеспечение точности изготовления детали с переустановками заготовки.

3.2. ЭЛЕМЕНТЫ ТРАЕКТОРИИ ИНСТРУМЕНТА

Формообразующие движения инструмента совместно с его подводами и отводами описываются линией, вдоль которой перемещается определенная точка инструмента. Эта линия называется траекторией инструмента.

Траекторию инструмента рассчитывают в соответствии с операционным технологическим процессом, определяющим тип операции (точение, сверление, фрезерование и т. п.), схему обработки (выборка массива материала, контурная обработка или циклы обработки отверстий), инструмент и режимы резания.

Характер траектории обусловлен числом управляемых (в том числе одновременно) координат и принципом управлением рабочих органов станка с ЧПУ. Так, двухкоординатное управление позволяет инструменту двигаться в пределах его рабочего диапазона перемещения к любой точке плоскости, трехкоординатное управление — к любой точке пространства. Дальнейшее увеличение числа управляемых координат до пяти дает возможность, например, изменять ориентацию оси инструмента, обеспечивая при обработке заготовки направление этой оси по нормали к обрабатываемой поверхности. В зависимости от числа одновременно управляемых координат различают прямоугольное, прямолинейное и криволинейное формообразование.

При прямоугольном формообразовании перемещения вдоль координатных осей (координатные перемещения) производятся поочередно за исключением случаев движения под определенными углами, когда одновременно с одинаковой скоростью отрабатываются две или три координаты (рис. 29, а). Этот угол при двухкоординатной обработке кратен 45° .

Прямолинейное формообразование предполагает линейную функциональную зависимость между величинами и скоростями координатных перемещений. Такая зависимость обеспечивается линейным интерполятором.

Криволинейное формообразование связано с обработкой контуров, имеющих в своем составе дуги окружностей или участки других кривых.

Прямолинейное и криволинейное формообразования контуров обеспечиваются непрерывными СЧПУ. Для прямоугольного формо-

образования контуров и обработки отверстий преимущественно применяются позиционные системы.

Траектория инструмента при обработке отверстий состоит из вспомогательных и рабочих ходов. Вспомогательные ходы производятся как в поочередной отработке координат (рис. 30, а),

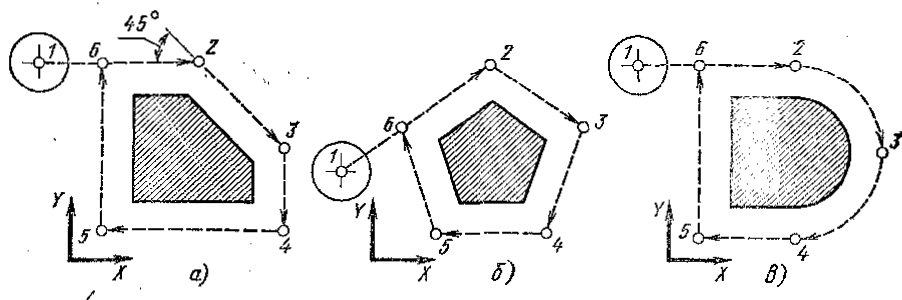


Рис. 29. Формообразование плоских контуров

так и с одновременным движением по двум (рис. 30, б) или трем координатам, что сокращает время позиционирования. Рабочие ходы (рис. 30, в) в большинстве случаев входят в состав постоянных циклов.

Элементами траектории инструмента при изготовлении большинства деталей являются отрезки прямых и дуги окружностей,

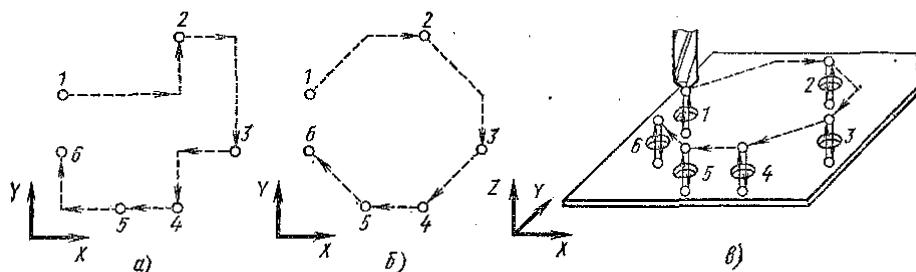


Рис. 30. Траектория инструмента при обработке отверстий

ограниченные опорными точками. Основой для расчета траектории инструмента служит контур детали, который наряду с отрезками прямых и дугами окружностей может содержать участки аналитически и точно заданных кривых.

Расчет опорных точек контура детали

Определение геометрических элементов контура детали ведется по заданным на чертеже размерам. Размеры детали и величины межоперационных припусков на обработку могут задаваться с отклонениями или обозначениями квалитетов. Для проведения расчетов квалитеты переводятся по соответствующим таблицам в отклонения.

Верхнее (δ_n) и нижнее (δ_n) отклонения данного номинального размера ($L_{ном}$) ограничивают поле допуска. Деформация системы

СПИД, размерный износ инструмента, изменение сил резания из-за снижения режущих свойств инструмента и ряд других причин приводят к возникновению погрешностей обработки. Эти погрешности частично могут быть учтены при выборе настроечного размера $L_{настр}$. Однако из-за сложности расчетов при подготовке УП вручную более действенным способом обеспечения точности обработки является выбор в качестве настроечного размера середины поля допуска: $L_{настр} = L_{ном} + (\delta_v + \delta_n)/2$ или (что еще более упрощает расчет) номинального размера и последующий ввод коррекции на этот программируемый размер с пульта управления УЧПУ по результатам пробной обработки детали.

Точность вычислений при расчете УП обычно ограничивается дискретностью задания перемещений, характеризуемой минимальным перемещением или углом поворота рабочего органа станка, которые могут быть заданы в УП.

Вычисление координат опорных точек контура детали ведется в системе координат детали с помощью уравнений, описывающих геометрические элементы, и соотношений в треугольниках. Наиболее часто в процессе программирования контурной обработки решаются задачи определения опорных точек, лежащих на прямых, окружностях и пересечениях этих элементов. Типовыми являются приведенные ниже случаи.

Точка на прямой. Прямая на плоскости XOY представляется общим уравнением прямой $Ax + By + C = 0$, которое, если $B \neq 0$, можно разрешить относительно ординаты и преобразовать к виду $y = -\frac{A}{B}x - \frac{C}{B}$, или записать в виде уравнения прямой с угловым коэффициентом $y = kx + b$, где k — угловой коэффициент, равный тангенсу угла наклона прямой к оси абсцисс; b — начальная ордината, равная ординате точки пересечения прямой с осью ординат.

Пример 1. Составить уравнение прямой, заданной углом $\alpha = 35^\circ$ и начальной ординатой $b = 15$ мм (рис. 31, а).

Решение:

$$y = kx + b = x \operatorname{tg} 35^\circ + 15 = 0,7x + 15.$$

Угловой коэффициент k и начальная ордината b в уравнении прямой с угловым коэффициентом являются параметрами прямой, с помощью которых можно задать положение прямой на плоскости. Однако эти параметры не позволяют задать прямую, параллельную оси ординат. Любую прямую на плоскости, описанную общим уравнением прямой, можно задать длиной перпендикуляра, проведенного из начала координат к прямой, — полярным расстоянием $p = |C|/\sqrt{A^2 + B^2}$ и углом, образованным этим перпендикуляром с осью абсцисс, — полярным углом φ , определяемыми зависимостями

$$\cos \varphi = \pm \frac{A}{\sqrt{A^2 + B^2}};$$

$$\sin \varphi = \pm \frac{B}{\sqrt{A^2 + B^2}}.$$

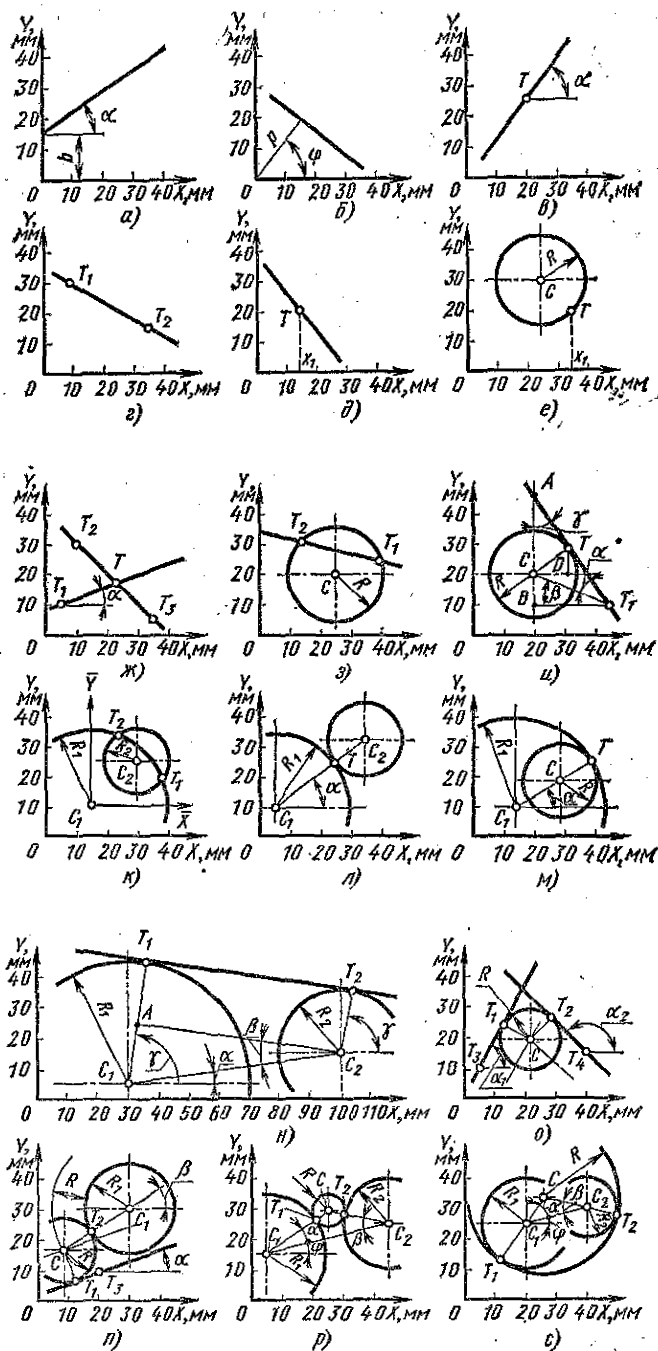


Рис. 31. Параметры прямой и окружности

Прямая с полярным расстоянием p и полярным углом φ описывается нормальным уравнением прямой

$$x \cos \varphi + y \sin \varphi - p = 0.$$

Пример 2. Составить уравнение прямой, заданной полярным расстоянием $p = 24$ мм и полярным углом $\varphi = 57^\circ 7' 48''$ (рис. 31, б).

Решение. Нормальное уравнение прямой

$$x \cos \varphi + y \sin \varphi - p = x \cos 53,13^\circ + y \sin 53,13^\circ - 24 = 0.$$

После подстановки значений тригонометрических функций это уравнение приводится к уравнению прямой в общем виде

$$0,6x + 0,8y - 24 = 3x + 4y - 120 = 0$$

или к уравнению прямой с угловым коэффициентом

$$y = -\frac{3}{4}x - \frac{120}{4} = -0,75x + 30.$$

Уравнение прямой, проходящей через заданную точку $T_1(x_1, y_1)$ под углом α к оси абсцисс, имеет вид

$$y = k(x - x_1) + y_1.$$

Пример 3. Составить уравнение прямой, заданной точкой $T(x_T = 20$ мм; $y_T = 25$ мм) и углом $\alpha = 52^\circ$ (рис. 31, в).

Решение:

$$y = k(x - x_T) + y_T = \operatorname{tg} 52^\circ (x - 20) + 25 = 1,28x - 0,6.$$

Уравнение прямой, проходящей через две заданные точки $T_1(x_1, y_1)$ и $T_2(x_2, y_2)$, записывается в виде

$$y = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}(x - x_1) + y_1.$$

Пример 4. Составить уравнение прямой, заданной точками $T_1(x_1 = 10$ мм; $y_1 = 30$ мм) и $T_2(x_2 = 35$ мм; $y_2 = 15$ мм) (рис. 31, г).

Решение:

$$y = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}(x - x_1) + y_1 = \frac{15 - 30}{35 - 10}(x - 10) + 30 = -0,6x + 36.$$

Точка на прямой определяется одной из координат. Если известна абсцисса точки x_T , то ордината $y_T = kx_T + b$. Если известна ордината точки y_T , то абсцисса $x_T = (y_T - b)/k$.

Пример 5. Определить ординату y_T точки $T(x_T = 15$ мм) на прямой, заданной параметрами $k = -1,25$; $b = 40$ мм (рис. 31, д).

Решение: Уравнение прямой

$$y = kx + b = -1,25x + 40.$$

Искомая ордината

$$y_T = -1,25x_T + 40 = -1,25 \cdot 15 + 40 = 21,25 \text{ мм.}$$

Точка на окружности. Уравнение окружности радиусом R с центром $C(x_C, y_C)$ имеет вид

$$R^2 = (x - x_C)^2 + (y - y_C)^2,$$

или, когда оно разрешено относительно ординаты,

$$y = y_C \pm \sqrt{R^2 - (x - x_C)^2}.$$

Точке на окружности, заданной абсциссой x_T , соответствуют два значения ординаты:

$$y_I = y_C \pm \sqrt{R^2 - (x_T - x_C)^2},$$

а точке, заданной ординатой y_T , — два значения абсциссы:

$$x_T = x_C \pm \sqrt{R^2 - (y_T - y_C)^2},$$

требуемое решение из которых выбирают по признаку расположения искомой точки.

Если выражение под знаком радикала равно нулю, что имеет место при задании предельных значений одной из координат, то другая координата точки определяется однозначно.

Пример 6. Определить ординату y_T точки T ($x_T = 35$ мм) на окружности радиусом $R = 15$ мм с центром C ($x_C = 25$ мм; $y_C = 30$ мм) (рис. 31, е).

Решение. Уравнение окружности

$$y = y_C \pm \sqrt{R^2 - (x - x_C)^2} = 30 \pm \sqrt{15^2 - (x - 25)^2}.$$

После подстановки в это уравнение значения абсциссы точки T

$$y = 30 \pm \sqrt{15^2 - (x_T - 25)^2} = 30 \pm \sqrt{15^2 - (35 - 25)^2} = 30 \pm 11,18.$$

Искомая ордината соответствует меньшему из двух ее возможных значений $y_T = 30 - 11,18 = 18,82$ мм.

Пересечение двух прямых. Точка пересечения двух прямых $T(x_T, y_I)$ определяется решением системы уравнений, описывающих эти прямые. Решением системы уравнений

$$y = k_1x + b_1;$$

$$y = k_2x + b_2$$

являются координаты точки пересечения

$$x_T = \frac{b_2 - b_1}{k_1 - k_2};$$

$$y_I = k_1x_T + b_1.$$

Пример 7. Определить точку y_T пересечения $T(x_T)$ прямых, первая из которых задана точкой T_1 ($x_1 = 5$ мм; $y_1 = 10$ мм) и углом $\alpha = 21,8^\circ$, а вторая — двумя точками T_2 ($x_2 = 10$ мм; $y_2 = 30$ мм), T_3 ($x_3 = 35$ мм; $y_3 = 5$ мм) (рис. 31, ж).

Решение. Уравнения прямых

$$y = \operatorname{tg} \alpha (x - x_1) + y_1 = \operatorname{tg} 21,8^\circ (x - 5) = 0,4x + 8;$$

$$y = \frac{y_3 - y_2}{x_3 - x_2} (x - x_2) + y_2 = \frac{5 - 30}{35 - 10} (x - 10) + 30 = -x + 40.$$

Искомые координаты точки пересечения

$$x_T = \frac{b_2 - b_1}{k_1 - k_2} = \frac{40 - 8}{0,4 + 1} = 22,86 \text{ мм};$$

$$y_I = -x_T + b_2 = -22,86 + 40 = 17,14 \text{ мм}.$$

Пересечение прямой и окружности. Точки пересечения прямой и окружности определяются решением системы описывающих их уравнений. Решение системы уравнений прямой и окружности,

а также двух окружностей, приводит к выражению вида $x = a \pm \sqrt{\dots}$, где величина под знаком радикала может быть больше, равна или меньше нуля, и соответственно точек пересечения будет две, одна (элементы касаются) или ни одной (элементы не пересекаются).

Пример 8. Определить точки пересечения $T_1(x_1, y_1)$, $T_2(x_2, y_2)$ прямой; заданной параметрами $k = -0,25$; $b = 35$ мм, с окружностью радиусом $R = 15$ мм с центром $C(x_C = 25$ мм; $y_C = 20$ мм) (рис. 31, а).

Решение: Уравнения прямой и окружности

$$y = kx + b = -0,25x + 35;$$

$$y = y_C \pm \sqrt{R^2 - (x - x_C)^2} = 20 \pm \sqrt{15^2 - (x - 25)^2}.$$

Решение системы уравнений

$$-0,25x + 35 = 20 \pm \sqrt{15^2 - (x - 25)^2};$$

$$(15 - 0,25x)^2 = 15^2 - (x - 25)^2;$$

$$x^2 - 54,12x + 588,24 = 0;$$

$$x = 27,06 \pm \sqrt{732,24 - 588,24} = 27,06 \pm 12.$$

Искомые координаты точек пересечения

$$x_1 = 27,06 + 12 = 39,06 \text{ мм};$$

$$y_1 = -0,25x_1 + 35 = -0,25 \cdot 39,06 + 35 = 25,24 \text{ мм};$$

$$x_2 = 27,06 - 12 = 15,06 \text{ мм};$$

$$y_2 = -0,25x_2 + 35 = -0,25 \cdot 15,06 + 35 = 31,24 \text{ мм}.$$

Прямая, касательная к окружности. Касательная к окружности радиусом R с центром $C(x_C, y_C)$ может быть задана уравнением прямой, углом наклона касательной к оси абсцисс α или точкой $T_1(x_1, y_1)$, через которую требуется провести касательную. Последние два случая имеют два решения.

Если касательная задана уравнением, то координаты точки касания прямой и окружности определяются решением системы их уравнений.

Координаты точки касания прямой, заданной углом α , вычисляются по формулам

$$x_T = x_C \pm R \sin \alpha;$$

$$y_T = y_C \pm R \cos \alpha,$$

где знаки «+» или «-» выбирают в зависимости от расположения касательной относительно окружности.

Точка касания прямой, проходящей через заданную точку, определяется из соотношений в треугольниках.

Пример 9. Определить точку касания $T(x_T, y_T)$ прямой, проведенной через точку $T_1(x_1 = 45$ мм; $y_1 = 10$ мм) касательно к окружности радиусом $R = 15$ мм с центром $C(x_C = 20$ мм; $y_C = 20$ мм) (рис. 31, б).

Решение. Из треугольника CTT_1

$$\alpha = \arcsin \frac{R}{\sqrt{(x_1 - x_C)^2 + (y_C - y_1)^2}} = \arcsin \frac{15}{\sqrt{(45 - 20)^2 + (20 - 10)^2}} = 33,85^\circ.$$

Из треугольника CBT_1

$$\beta = \operatorname{arctg} \frac{y_C - y_1}{x_1 - x_C} = \operatorname{arctg} \frac{20 - 10}{45 - 20} = 21,8^\circ.$$

Из треугольника ABT_1

$$\gamma = 90^\circ - (\alpha + \beta) = 90^\circ - (33,85^\circ + 21,8^\circ) = 34,35^\circ.$$

Из подобия треугольников ABT и CDT (по признаку перпендикулярности сторон) угол наклона радиуса R в точке касания равен углу γ . Тогда искомые координаты точки сопряжения

$$x_T = x_C + R \cos \gamma = 20 + 15 \cos 34,35^\circ = 32,38 \text{ мм};$$

$$y_T = y_C + R \sin \gamma = 20 + 15 \sin 34,35^\circ = 28,46 \text{ мм}.$$

Пересечение двух окружностей. Точки пересечения двух окружностей определяются решением системы их уравнений. Для упрощения вычислений начало системы координат следует перенести в центр одной из окружностей.

Пример 10. Определить точки пересечения $T_1(x_1, y_1)$, $T_2(x_2, y_2)$ двух окружностей радиусами $R_1 = 25 \text{ мм}$, $R_2 = 10 \text{ мм}$ с центрами $C_1(x_{C_1} = 15 \text{ мм}; y_{C_1} = 10 \text{ мм})$, $C_2(x_{C_2} = 30 \text{ мм}; y_{C_2} = 25 \text{ мм})$ (рис. 31, к).

Решение. Начало системы координат смещается на величины $\Delta x = -15 \text{ мм}$; $\Delta y = -10$ в центр окружности R_1 , изменяются координаты центров $C_1(\bar{x}_{C_1} = 0; \bar{y}_{C_1} = 0)$, $C_2(\bar{x}_{C_2} = 15 \text{ мм}; \bar{y}_{C_2} = 15 \text{ мм})$.

Уравнения окружностей в новой системе координат

$$y = \sqrt{R_1^2 - x^2} = \sqrt{25^2 - x^2};$$

$$y = \bar{y}_{C_2} \pm \sqrt{R_2^2 - (x - \bar{x}_{C_2})^2} = 15 \pm \sqrt{10^2 - (x - 15)^2}.$$

Решение системы уравнений

$$\sqrt{25 - x^2} = 15 \pm \sqrt{10^2 - (x - 15)^2};$$

$$25 - x^2 = 15^2 \pm 30 \sqrt{10^2 - (x - 15)^2} + 10^2 - (x - 15)^2;$$

$$\frac{525 - 30x}{30} = \sqrt{-x^2 + 30x - 125};$$

$$(17,5 - x)^2 = -x^2 + 30x - 125;$$

$$x^2 - 32,5x + 215,63 = 0;$$

$$x = 16,25 \pm \sqrt{16,25^2 - 215,63} = 16,25 \pm 6,96.$$

Координаты точек пересечения в новой системе координат

$$\bar{x}_1 = 16,25 + 6,96 = 23,21 \text{ мм};$$

$$\bar{y}_1 = \sqrt{25^2 - \bar{x}_1^2} = \sqrt{25^2 - 23,21^2} = 9,29 \text{ мм};$$

$$\bar{x}_2 = 16,25 - 6,96 = 9,29 \text{ мм};$$

$$\bar{y}_2 = \sqrt{25^2 - \bar{x}_2^2} = \sqrt{25^2 - 9,29^2} = 23,21 \text{ мм}.$$

Искомые координаты точек пересечения в исходной системе координат

$$x_1 = \bar{x}_1 - \Delta x = 23,21 + 15 = 38,21 \text{ мм};$$

$$y_1 = \bar{y}_1 - \Delta y = 9,29 + 10 = 19,29 \text{ мм};$$

$$x_2 = \bar{x}_2 - \Delta x = 9,29 + 15 = 24,29 \text{ мм};$$

$$y_2 = \bar{y}_2 - \Delta y = 23,21 + 10 = 33,21 \text{ мм}.$$

Касание двух окружностей. Точку касания двух окружностей определяют с помощью угла наклона линии центров к оси абсцисс с учетом их взаимного расположения. Принцип вычисления координат точек касания двух окружностей пояснен примерами внешнего и внутреннего их касания.

Пример 11. Определить точку касания $T(x_T, y_T)$ окружности радиусом $R_1 = 25$ мм с центром $C_1(x_{C_1} = 5, \text{мм}, y_{C_1} = 10 \text{ мм})$ с окружностью с центром $C_2(x_{C_2} = 35 \text{ мм}, y_{C_2} = 32,5 \text{ мм})$ (рис. 31, л).

Решение. Угол наклона линии центров

$$\alpha = \operatorname{arctg} \frac{y_{C_2} - y_{C_1}}{x_{C_2} - x_{C_1}} = \operatorname{arctg} \frac{32,5 - 10}{35 - 5} = 36,87^\circ.$$

Искомые координаты точки касания

$$x_T = x_{C_1} + R_1 \cos \alpha = 5 + 25 \cos 36,87^\circ = 25 \text{ мм};$$

$$y_T = y_{C_1} + R_1 \sin \alpha = 10 + 25 \sin 36,87^\circ = 25 \text{ мм}.$$

Пример 12. Определить центр $C(x_C, y_C)$ окружности радиусом $R = 12,5$ мм и точку ее касания $T(x_T, y_T)$ с окружностью радиусом $R = 30$ мм с центром $C_1(x_{C_1} = 15 \text{ мм}; y_{C_1} = 10 \text{ мм})$, если угол наклона к оси абсцисс радиуса R_1 в точке касания $\alpha = 30^\circ$ (рис. 31, м).

Решение. Координаты центра окружности радиусом R

$$x_C = x_{C_1} + (R_1 - R) \cos \alpha = 15 + (30 - 12,5) \cos 30^\circ = 30,16 \text{ мм};$$

$$y_C = y_{C_1} + (R_1 - R) \sin \alpha = 10 + (30 - 12,5) \sin 30^\circ = 18,75 \text{ мм}.$$

Координаты точки касания окружностей

$$x_T = x_{C_1} + R \cos \alpha = 15 + 30 \cos 30^\circ = 40,98 \text{ мм};$$

$$y_T = y_{C_1} + R \sin \alpha = 10 + 30 \sin 30^\circ = 25 \text{ мм}.$$

Прямая, касательная к двум окружностям. Точки касания прямой к двум окружностям определяются углами наклона к оси абсцисс радиусов окружностей в точках касания с учетом взаимного расположения этих геометрических элементов.

Пример 13. Определить точки касания $T_1(x_1, y_1)$, $T_2(x_2, y_2)$ прямой с двумя окружностями радиусами $R_1 = 40$ мм, $R_2 = 20$ мм с центрами $C_1(x_{C_1} = 30 \text{ мм}; y_{C_1} = 5 \text{ мм})$, $C_2(x_{C_2} = 100 \text{ мм}; y_{C_2} = 15 \text{ мм})$ (рис. 31, н).

Решение. Угол наклона линии центров

$$\alpha = \operatorname{arctg} \frac{y_{C_2} - y_{C_1}}{x_{C_2} - x_{C_1}} = \operatorname{arctg} \frac{15 - 5}{100 - 30} = 8,13^\circ.$$

Из треугольника AC_1C_2

$$\beta = \arcsin \frac{R_1 - R_2}{\sqrt{(x_{C_2} - x_{C_1})^2 + (y_{C_2} - y_{C_1})^2}} =$$

$$= \arcsin \frac{40 - 20}{\sqrt{(100 - 30)^2 + (15 - 5)^2}} = 16,43^\circ.$$

Угол наклона к оси абсцисс радиуса R_1

$$\gamma = 90^\circ - \beta + \alpha = 90^\circ - 16,43^\circ + 8,13^\circ = 81,7^\circ.$$

Искомые координаты точек касания

$$x_1 = x_{C_1} + R_1 \cos \gamma = 30 + 40 \cos 81,7^\circ = 35,77 \text{ мм};$$

$$y_1 = y_{C_1} + R_1 \sin \gamma = 5 + 40 \sin 81,7^\circ = 44,58 \text{ мм};$$

$$x_2 = x_{C_2} + R_2 \cos \gamma = 100 + 20 \cos 81,7^\circ = 102,89 \text{ мм};$$

$$y_2 = y_{C_2} + R_2 \sin \gamma = 15 + 20 \sin 81,7^\circ = 34,79 \text{ мм}.$$

Сопряжение двух прямых дугой окружности. Центр сопрягающей дуги окружности определяется пересечением прямых, параллельных заданным прямым на расстоянии радиуса этой окружности.

Если прямая задана точкой $T_1(x_1, y_1)$ и углом α , то уравнение параллельной ей прямой на расстоянии R имеет вид

$$y = (x - x_1) \operatorname{tg} \alpha + y_1 \pm p,$$

где $p = |R/\cos \alpha|$. Здесь p принимается со знаком «+», если параллельная прямая пересекает ось ординат выше, чем заданная прямая; в противном случае — со знаком «-».

При известном центре сопрягающей дуги окружности точки сопряжения ее с прямыми определяются так же, как в случае прямой, касательной к окружности.

Пример 14. Определить центр $C(x_C, y_C)$ и точки касания $T_1(x_1, y_1)$, $T_2(x_2, y_2)$ окружности радиусом $R = 10$ мм, сопряженной с двумя прямыми, заданными точками $T_3(x_3 = 5 \text{ мм}; y_3 = 10 \text{ мм})$, $T_4(x_4 = 40 \text{ мм}; y_4 = 15 \text{ мм})$ и углами $\alpha_1 = 60^\circ$, $\alpha_2 = 135^\circ$ (рис. 31, а).

Решение. Уравнения прямых, параллельных заданным прямым на расстоянии R , образуют систему

$$\begin{aligned} y &= (x - x_3) \operatorname{tg} \alpha_1 + y_3 - |R/\cos \alpha_1| = \\ &= (x - 5) \operatorname{tg} 60^\circ + 10 - |10/\cos 60^\circ| = 1,73x - 18,66; \\ y &= (x - x_4) \operatorname{tg} \alpha_2 + y_4 - |R/\cos \alpha_2| = \\ &= (x - 40) \operatorname{tg} 135^\circ + 15 - |10/\cos 135^\circ| = -x + 40,86; \end{aligned}$$

решением которой определяются координаты центра сопрягающей дуги

$$x_C = \frac{b_2 - b_1}{k_1 - k_2} = \frac{40,86 + 18,66}{1,73 + 1} = 21,79 \text{ мм};$$

$$y_C = -x_C + b_2 = -21,79 + 40,86 = 19,07 \text{ мм}.$$

Координаты точек касания

$$x_1 = x_C - R \cos(90^\circ - \alpha_1) = 21,79 - 10 \sin 60^\circ = 13,13 \text{ мм};$$

$$y_1 = y_C + R \sin(90^\circ - \alpha_1) = 19,07 + 10 \cos 60^\circ = 24,07 \text{ мм};$$

$$x_2 = x_C + R \cos(180^\circ - \alpha_2) = 21,79 + 10 \cos 45^\circ = 28,86 \text{ мм};$$

$$y_2 = y_C + R \sin(180^\circ - \alpha_2) = 19,07 + 10 \sin 45^\circ = 26,14 \text{ мм}.$$

Сопряжение прямой и окружности дугой окружности. Центр сопрягающей дуги окружности радиусом R определяется пересечением прямой, параллельной заданной на расстоянии R , и окружности, концентричной заданной на том же расстоянии.

Если окружность задана центром $C(x_C, y_C)$ и радиусом R_1 , то концентричная ей окружность на расстоянии R описывается уравнением

$$y = y_C \pm \sqrt{(R_1 \pm R)^2 - (x - x_C)^2}.$$

Знак «+» под корнем соответствует внешней концентричной окружности, а «-» — внутренней.

При известном центре сопрягающей дуги точки ее сопряжения с прямой и окружностью определяются так же, как в случаях касания прямой и окружности, а также касания двух окружностей.

Пример 15. Определить центр $C(x_C, y_C)$ и точки касания $T_1(x_1, y_1)$, $T_2(x_2, y_2)$ окружности радиусом $R = 10$ мм, сопряженной с прямой, заданной точкой $T_3(x_3 = 20 \text{ мм}; y_3 = 10 \text{ мм})$ и углом $\alpha = 18,5^\circ$, и окружности радиусом $R = 15$ мм с центром $C_1(x_{C_1} = 30 \text{ мм}, y_{C_1} = 30 \text{ мм})$ (рис. 31, п).

Решение. Уравнение прямой, параллельной заданной на расстоянии R ,

$$\begin{aligned} y &= (x - x_3) \operatorname{tg} \alpha + y_3 + |R/\cos \alpha| = \\ &= (x - 20) \operatorname{tg} 18,5^\circ + 10 + |10/\cos 18,5^\circ| = 0,33x + 13,85 \end{aligned}$$

и уравнение окружности, концентричной заданной на расстоянии R ,

$$\begin{aligned} y &= y_{C_1} \pm \sqrt{(R_1 + R)^2 - (x - x_{C_1})^2} = 30 \pm \sqrt{(15 + 10)^2 - (x - 30)^2} = \\ &= 30 \pm \sqrt{25^2 - (x - 30)^2} \end{aligned}$$

образуют систему, решением которой определяются координаты центра сопрягающей дуги окружности:

$$0,33x + 13,85 = 30 \pm \sqrt{25^2 - (x - 30)^2};$$

$$(0,33x - 16,15)^2 = 25^2 - (x - 30)^2;$$

$$x^2 - 63,66x + 482,72 = 0;$$

$$x = 31,83 \pm \sqrt{1013,15 - 482,72} = 31,83 \pm 23,03 \text{ мм},$$

Искомая абсцисса — меньшая:

$$x_C = 31,83 - 23,03 = 8,8 \text{ мм}.$$

Ордината

$$y_C = 0,33x_C + 13,85 = 0,33 \cdot 8,8 + 13,85 = 16,75 \text{ мм}.$$

Угол наклона линии центров

$$\beta = \operatorname{arctg} \frac{y_{C_1} - y_C}{x_{C_1} - x} = \operatorname{arctg} \frac{30 - 16,75}{30 - 8,8} = 32^\circ.$$

Координаты точек касания

$$x_1 = x_C + R \sin \alpha = 8,8 + 10 \sin 18,5^\circ = 11,97 \text{ мм};$$

$$y_1 = y_C - R \cos \alpha = 16,75 - 10 \cos 18,5^\circ = 7,27 \text{ мм};$$

$$x_2 = x_C + R \cos \beta = 8,8 + 10 \cos 32^\circ = 17,28 \text{ мм};$$

$$y_2 = y_C + R \sin \beta = 16,75 + 10 \sin 32^\circ = 22,05 \text{ мм}.$$

Сопряжение двух окружностей дугой окружности. Центр сопрягающей дуги окружности определяют с помощью соотношений в косугольном треугольнике, вершинами которого служат центры окружностей. При известном центре сопрягающей дуги координаты

точек ее сопряжения вычисляют так же, как в случае касания двух окружностей.

Принцип вычисления координат центра и точек касания сопрягающей дуги пояснен примерами внешнего и внутреннего сопряжения двух окружностей с третьей.

Пример 16. Определить центр $C(x_C, y_C)$ и точки сопряжения $T_1(x_1, y_1)$, $T_2(x_2, y_2)$ окружности радиусом $R = 5$ мм с двумя окружностями радиусами $R_1 = 20$ мм, $R_2 = 15$ мм с центрами $C_1(x_{C_1} = 5$ мм; $y_{C_1} = 15$ мм), $C_2(x_{C_2} = 45$ мм; $y_{C_2} = 25$ мм) (рис. 31, p).

Решение. Из треугольника CC_1C_2

$$a = CC_2 = R + R_2 = 5 + 15 = 20 \text{ мм};$$

$$b = CC_1 = R + R_1 = 5 + 20 = 25 \text{ мм};$$

$$c = C_1C_2 = \sqrt{(x_{C_2} - x_{C_1})^2 + (y_{C_2} - y_{C_1})^2} = \sqrt{(45 - 5)^2 + (25 - 15)^2} = 41,23 \text{ мм};$$

$$p = \frac{a + b + c}{2} = \frac{20 + 25 + 41,23}{2} = 43,12 \text{ мм};$$

$$r = \sqrt{\frac{(p-a)(p-b)(p-c)}{p}} = \sqrt{\frac{(43,12-20)(43,12-25)(43,12-41,23)}{43,12}} = 4,29 \text{ мм};$$

$$\alpha = 2 \arctg \frac{r}{p-a} = 2 \arctg \frac{4,29}{43,12-20} = 21^\circ;$$

$$\beta = 2 \arctg \frac{r}{p-b} = 2 \arctg \frac{4,29}{43,12-25} = 26,64^\circ;$$

$$\varphi = \arctg \frac{y_{C_2} - y_{C_1}}{x_{C_2} - x_{C_1}} = \arctg \frac{25 - 15}{45 - 5} = 14,04^\circ.$$

Координаты центра сопрягающей дуги

$$x_C = x_{C_1} + (R_1 + R) \cos(\alpha + \varphi) = 5 + (20 + 5) \cos(21^\circ + 14,04^\circ) = 25,47 \text{ мм};$$

$$y_C = y_{C_1} + (R_1 + R) \sin(\alpha + \varphi) = 15 + (20 + 5) \sin(21^\circ + 14,04^\circ) = 29,35 \text{ мм}.$$

Координаты точек касания

$$x_1 = x_{C_1} + R_1 \cos(\alpha + \varphi) = 5 + 20 \cos(21^\circ + 14,04^\circ) = 21,38 \text{ мм};$$

$$y_1 = y_{C_1} + R_1 \sin(\alpha + \varphi) = 15 + 20 \sin(21^\circ + 14,04^\circ) = 26,48 \text{ мм};$$

$$x_2 = x_{C_2} - R_2 \cos(\beta - \varphi) = 45 - 15 \cos(26,64^\circ - 14,04^\circ) = 30,36 \text{ мм};$$

$$y_2 = y_{C_2} + R_2 \sin(\beta - \varphi) = 25 + 15 \sin(26,64^\circ - 14,04^\circ) = 28,27 \text{ мм}.$$

Пример 17. Определить центр $C(x_C, y_C)$ и точки сопряжения $T_1(x_1, y_1)$, $T_2(x_2, y_2)$ окружности радиусом $R = 25$ мм с двумя окружностями радиусами $R_1 = 15$ мм, $R_2 = 10$ мм с центрами $C_1(x_{C_1} = 20$ мм; $y_{C_1} = 25$ мм), $C_2(x_{C_2} = 40$ мм; $y_{C_2} = 30$ мм) (рис. 31, c).

Решение. Из треугольника CC_1C_2

$$a = CC_2 = R - R_2 = 25 - 10 = 15 \text{ мм};$$

$$b = CC_1 = R - R_1 = 25 - 15 = 10 \text{ мм};$$

$$c = C_1 C_2 = \sqrt{(x_{C_2} - x_{C_1})^2 + (y_{C_2} - y_{C_1})^2} = \sqrt{(40 - 20)^2 + (30 - 25)^2} = 20,62 \text{ мм};$$

$$p = \frac{a + b + c}{2} = \frac{15 + 10 + 20,62}{2} = 22,81 \text{ мм};$$

$$r = \sqrt{\frac{(p-a)(p-b)(p-c)}{2}} =$$

$$= \sqrt{\frac{(22,81 - 15)(22,81 - 10)(22,81 - 20,62)}{2}} = 3,1 \text{ мм};$$

$$\alpha = 2 \operatorname{arctg} \frac{r}{p-a} = 2 \operatorname{arctg} \frac{3,1}{22,81 - 15} = 43,3^\circ;$$

$$\beta = 2 \operatorname{arctg} \frac{r}{p-b} = 2 \operatorname{arctg} \frac{3,1}{22,81 - 10} = 27,21^\circ;$$

$$\varphi = \operatorname{arctg} \frac{y_{C_2} - y_{C_1}}{x_{C_2} - x_{C_1}} = \operatorname{arctg} \frac{30 - 25}{40 - 20} = 14,04^\circ.$$

Координаты центра сопрягающей дуги

$$x_C = x_{C_1} + (R - R_1) \cos(\alpha + \varphi) = 20 + (25 - 15) \cos(43,3^\circ + 14,04^\circ) = 25,4 \text{ мм};$$

$$y_C = y_{C_1} + (R - R_1) \sin(\alpha + \varphi) = 25 + (25 - 15) \sin(43,3^\circ + 14,04^\circ) = 33,42 \text{ мм}.$$

Координаты точек касания

$$x_1 = x_{C_1} - R_1 \cos(\alpha + \varphi) = 20 - 15 \cos(43,3^\circ + 14,04^\circ) = 11,91 \text{ мм};$$

$$y_1 = y_{C_1} - R_1 \sin(\alpha + \varphi) = 25 - 15 \sin(43,3^\circ + 14,04^\circ) = 12,37 \text{ мм};$$

$$x_2 = x_{C_2} + R_2 \cos(\beta - \varphi) = 40 + 10 \cos(27,21^\circ - 14,04^\circ) = 49,74 \text{ мм};$$

$$y_2 = y_{C_2} - R_2 \sin(\beta - \varphi) = 30 - 10 \sin(27,21^\circ - 14,04^\circ) = 27,72 \text{ мм}.$$

Трудоемкость вычисления координат опорных точек во многом зависит от опыта технолога-программиста, его знаний и способности ориентироваться при постановке и решении геометрических задач. Систематизация встречающихся геометрических задач и способов их решения не исключает индивидуального подхода к конкретной задаче, что часто позволяет найти более простое ее решение.

Определение опорных точек контура детали начинают с анализа чертежа, недостаток или избыток размеров на котором следует устранить. Критерием такого анализа может служить возможность построения всех элементов контура по заданным на чертеже размерам.

Пусть, например, требуется определить координаты опорных точек детали «крышка» (рис. 32), маршрутный технологический процесс которой включает обработку отверстий на сверлильном станке, а также обработку наружного и внутреннего контуров на фрезерном станке.

Учитывая, что на чертеже этой детали большинство размеров проставлено относительно ее левого торца и основания, начало системы координат детали удобно выбрать в точке Д.

На сверлильном станке подлежат обработке два базовых отверстия диаметром 10Н8, три крепежных отверстия диаметром 6 мм и технологическое отверстие диаметром 22 мм для ввода фрезы в зону

Координата	Точка					
	1	2	3	4	5	6
x_D	20	x_2	x_3	x_4	x_5	70
y_D	20	20	40	y_4	y_5	40

резания при обработке внутреннего контура детали на фрезерном станке. Опорными точками отверстий служат их центры на верхней плоскости детали ($z_D = 0$). Номера опорных точек соответствуют номерам отверстий на операционном эскизе сверлильной обработки (рис. 33). Некоторые координаты центров этих отверстий переносят в таблицу из чертежа без пересчетов (табл. 4).

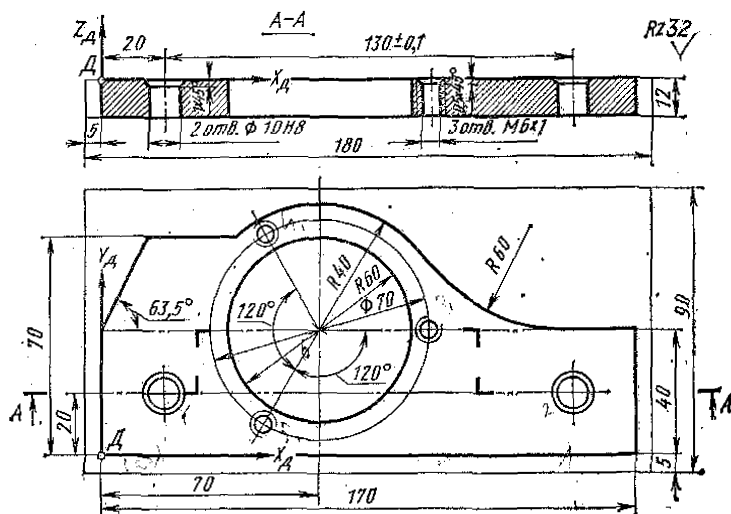


Рис. 32. Деталь «крышка»

Остальные координаты опорных точек вычисляют с использованием заданных размеров:

$$x_2 = x_1 + 130 = 20 + 130 = 150 \text{ мм};$$

$$x_3 = x_6 + R = 70 + \frac{70}{2} = 105 \text{ мм};$$

$$x_4 = x_6 + R \cos 120^\circ = 70 + \frac{70}{2} \cos 120^\circ = 52,5 \text{ мм};$$

$$y_4 = y_6 + R \sin 120^\circ = 40 + \frac{70}{2} \sin 120^\circ = 70,31 \text{ мм};$$

$$x_5 = x_6 + R \cos(-120^\circ) = 70 + \frac{70}{2} \cos(-120^\circ) = 52,5 \text{ мм};$$

$$y_5 = y_6 + R \sin(-120^\circ) = 40 + \frac{70}{2} \sin(-120^\circ) = 9,69 \text{ мм}.$$

В систему координат станка эти точки пересчитывают с учетом параметров крепежного приспособления по формулам (табл. 5)

$$x_c = x_d + 30; \quad y_c = y_d + 85; \quad z_c = z_d + 175.$$

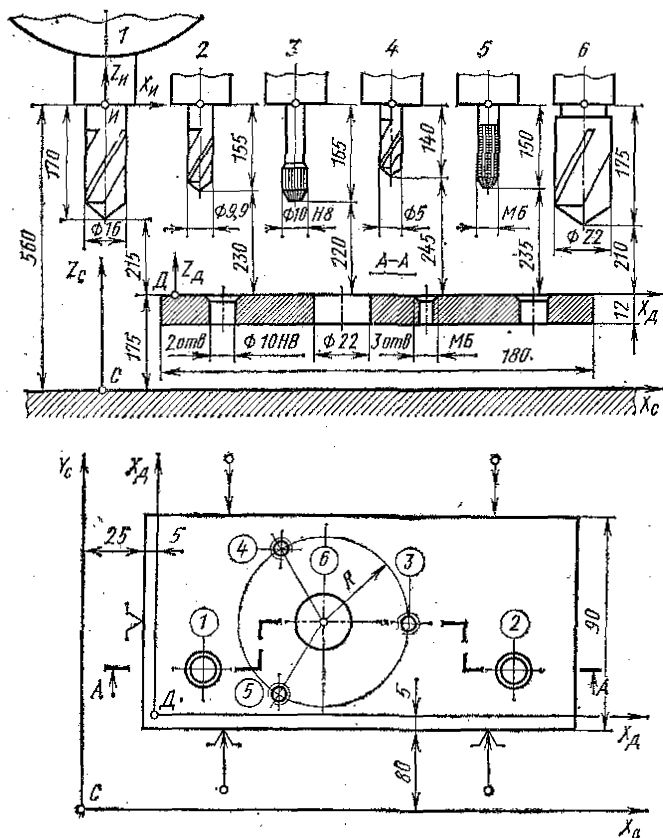


Рис. 33. Операционный эскиз сверлильной операции изготовления детали «крышка»

Опорные точки наружного контура детали обозначены на операционном эскизе фрезерной обработки (рис. 34). Большинство координат опорных точек можно перенести в таблицу непосредственно из чертежа (табл. 6).

Абсцисса точки С определяется решением системы уравнений пересекающихся прямых

$$y = x \operatorname{tg} \alpha + y_B;$$

$$y = y_C,$$

Таблица 5

Координата	Точка					
	1	2	3	4	5	6
x_D	20 ✓	150	105	52,5	52,5	70
y_D	20 +	20	40	70,31	9,69	40
x_C	50 ✓	180	135	82,5	82,5	100
y_C	105 +	105	125	155,31	94,69	125
z_C	175	175	175	175	175	175

Таблица 6

Координата	Точка									
	A	B	C	D	F	F	G	H	I	J
x_D	0	0	x_G	x_D	70	x_F	x_G	x_H	170	170
y_D	0	40	70	70	40	y_F	y_G	40	40	0

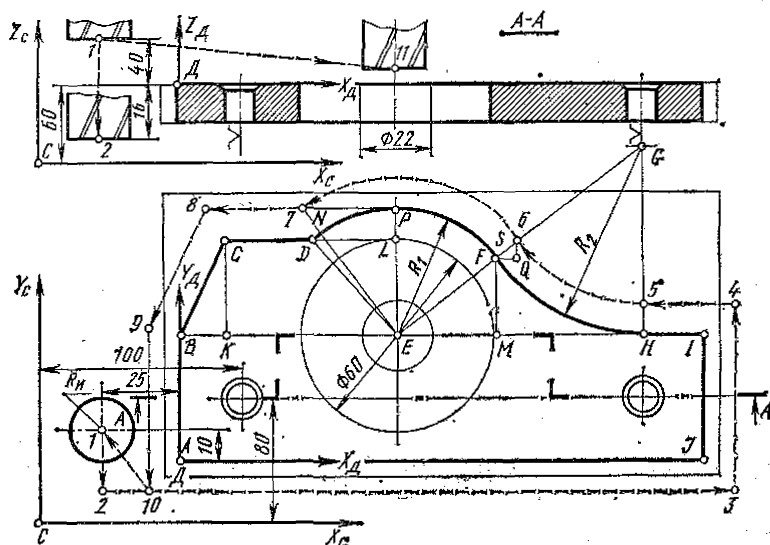


Рис. 34. Операционный эскиз фрезерной обработки детали «крышка»

или из прямоугольного треугольника BCK

$$x_C = \frac{y_C - y_B}{\operatorname{tg} \alpha} = \frac{70 - 40}{\operatorname{tg} 63,5^\circ} = 14,96 \text{ мм.}$$

Абсцисса точки D определяется решением системы уравнений пересекающихся прямой и окружности:

$$y = y_D;$$

$$y = y_E \pm \sqrt{R_1^2 - (x - x_E)^2};$$

$$\begin{aligned} x_D &= x_E \pm \sqrt{R_1^2 - (y_D - y_E)^2} = \\ &= 70 \pm \sqrt{40^2 - (70 - 40)^2} = 70 \pm 26,46 \text{ мм.} \end{aligned}$$

Искомая абсцисса — меньшая:

$$x_D = 70 - 26,46 = 43,54 \text{ мм.}$$

Абсциссу точки D можно определить и из треугольника DLE :

$$\begin{aligned} x_D &= x_E - DL = x_E - \sqrt{R_1^2 - (y_C - y_E)^2} = \\ &= 70 - \sqrt{40^2 - (70 - 40)^2} = 43,54 \text{ мм.} \end{aligned}$$

Координаты точек G , F и H вычисляются из условия сопряжения окружности радиусом R_1 с центром в точке E и прямой EI окружностью радиусом R_2 .

Координаты точки G можно определить решением системы уравнений прямой, параллельной прямой EI на расстоянии R_2 , и окружности радиусом $R_1 + R_2$, concentричной окружности радиусом R_1 на расстоянии R_2 :

$$y = y_I + R_2 = 40 + 60 = 100 \text{ мм;}$$

$$\begin{aligned} y &= y_E \pm \sqrt{(R_1 + R_2)^2 - (x - x_E)^2} = 40 \pm \sqrt{(40 + 60)^2 - (x - 70)^2} = \\ &= 40 \pm \sqrt{-x^2 + 140x + 5100}; \end{aligned}$$

$$100 = 40 \pm \sqrt{-x^2 + 140x + 5100};$$

$$(100 - 40)^2 = -x^2 + 140x + 5100;$$

$$x^2 - 140x - 1500 = 0;$$

$$x = 70 \pm \sqrt{4900 + 1500} = 70 \pm 80.$$

Искомая абсцисса — большая:

$$x_G = 70 + 80 = 150 \text{ мм.}$$

Ордината

$$y_G = 100 \text{ мм.}$$

Угол наклона к оси абсцисс радиуса R_1 в точке сопряжения окружностей радиусами R_1 и R_2

$$\beta = \operatorname{arctg} \frac{y_G - y_E}{x_G - x_E} = \operatorname{arctg} \frac{100 - 40}{150 - 70} = 36,87^\circ.$$

Координаты точки F

$$x_F = x_E + R_1 \cos \beta = 70 + 40 \cos 36,87^\circ = 102 \text{ мм};$$

$$y_F = y_E + R_1 \sin \beta = 40 + 40 \sin 36,87^\circ = 64 \text{ мм}.$$

В данном случае координаты точек G и F проще определить из подобия треугольников EGH и EFM :

$$\begin{aligned} x_G = x_E + EH = x_E + \sqrt{EG^2 - GH^2} &= x_E + \sqrt{(R_1 + R_2)^2 - R_2^2} = \\ &= 70 + \sqrt{(40 + 60)^2 - 60^2} = 150 \text{ мм}; \end{aligned}$$

$$y_G = y_E + R_2 = 40 + 60 = 100 \text{ мм};$$

$$\begin{aligned} x_F = x_E + EM = x_E + \frac{EF \cdot EH}{EG} &= x_E + \frac{R_1 \sqrt{(R_1 + R_2)^2 - R_2^2}}{R_1 + R_2} = \\ &= 70 + \frac{40 \sqrt{(40 + 60)^2 - 60^2}}{40 + 60} = 102 \text{ мм}; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} y_F = y_E + FM &= y_E + \frac{EF \cdot GH}{EG} = y_E + \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} = \\ &= 40 + \frac{40 \cdot 60}{40 + 60} = 64 \text{ мм}. \end{aligned}$$

Абсцисса точки H $x_H = x_G = 150$ мм.

При определении координат опорных точек контуров тел вращения учитывают ориентацию детали на станке относительно заданного ее расположения на чертеже.

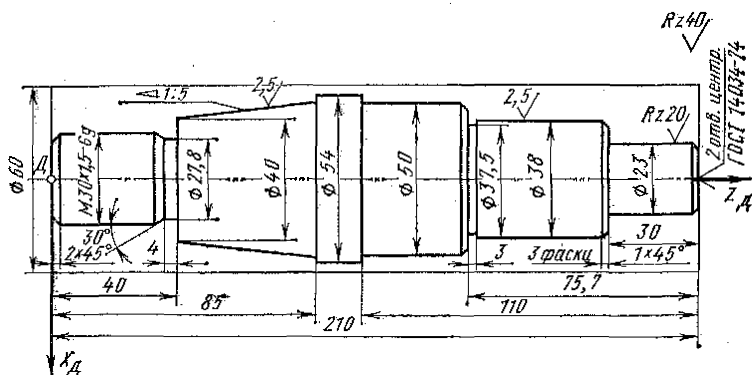


Рис. 35. Деталь «вал»

Например, деталь «вал» (рис. 35) изготавливается на токарном станке за два установка в прямой и обратной ориентации относительно ее расположения на чертеже. Взаимное расположение систем координат станка, детали и инструмента при закреплении заготовки в первом установке показано на рис. 36. На рис. 37 приведен эскиз детали в прямой (рис. 37, а) и обратной (рис. 37, б) ее ориентации для расчета координат опорных точек контура в системах координат детали и станка.

Следует принять во внимание, что для упрощения подготовки УП большинство УЧПУ токарных станков, включая рассматриваемый случай, предусматривают задание в кадрах УП перемещений по оси X значениями диаметров, а не радиусов.

72

Таблица 7

Точка	Координаты, мм		Точка	Координаты, мм		Точка	Координаты, мм	
	z	x		z	x		z	x
1	210	0	8	z ₈	37,5	15	40	40
2	210	x ₂	9	z ₉	x ₉	16	40	27,8
3	z ₃	23	10	z ₁₀	50	17	z ₁₇	27,8
4	z ₄	23	11	z ₁₁	50	18	z ₁₈	30
5	z ₅	x ₅	12	z ₁₂	54	19	2	30
6	z ₆	38	13	85	54	20	0	x ₂₀
7	z ₇	38	14	85	x ₁₄	21	0	0

Неизвестные координаты вычисляют с помощью размерных цепей:

$$x_2 = x_3 - 2 \cdot 1 = 23 - 2 = 21 \text{ мм};$$

$$z_3 = z_1 - 1 = 210 - 1 = 209 \text{ мм};$$

$$z_4 = z_5 = z_1 - 30 = 210 - 30 = 180 \text{ мм};$$

$$x_5 = x_6 - 2 \cdot 1 = 38 - 2 = 36 \text{ мм};$$

$$z_6 = z_5 - 1 = 180 - 1 = 179 \text{ мм};$$

$$z_7 = z_8 = z_9 = z_1 - 75,7 = 210 - 75,7 = 134,3 \text{ мм};$$

$$x_9 = x_{10} - 2 \cdot 1 = 50 - 2 = 48 \text{ мм};$$

$$z_{10} = z_9 - 1 = 134,3 - 1 = 133,3 \text{ мм};$$

$$z_{11} = z_{12} = z_1 - 110 = 210 - 110 = 100 \text{ мм};$$

$$x_{14} = x_{15} + (z_{13} - z_{15}) \frac{1}{5} = 40 + \frac{(85 - 40)}{5} = 49 \text{ мм};$$

$$z_{17} = z_{16} - 4 = 40 - 4 = 36 \text{ мм};$$

$$z_{18} = z_{17} - \frac{x_{18} - x_{17}}{2} \operatorname{ctg} 30^\circ = 36 - \frac{30 - 27,8}{2} \operatorname{ctg} 30^\circ = 34,09 \text{ мм};$$

$$x_{20} = x_{19} - 2 \cdot 2 = 30 - 4 = 26 \text{ мм}.$$

Для первого установа координаты опорных точек 1—11 контура вала пересчитаны из системы координат детали в систему координат станка по формулам

$$z_C = L_{\text{уст } 1} + z_D = 180 + z_D;$$

$$x_C = x_D$$

и занесены в табл. 8.

Для второго установа по формулам

$$z_C = L_{\text{уст } 2} - z_D = 390 - z_D;$$

$$x_C = x_D$$

пересчитаны координаты опорных точек 12—21 (табл. 9).

Таблица 8

Координата	Точка										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
z_D	210	210	209	180	180	179	134,3	134,3	134,3	133,3	100
$x_C = x_D$	0	21	23	23	36	38	38	37,5	48	50	50
z_C	390	390	389	360	360	359	314,3	314,3	314,3	313,3	280

Таблица 9

Координата	Точка									
	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
z_D	100	85	85	40	40	36	34,09	2	0	0
$x_C = x_D$	54	54	49	40	27,8	27,8	30	30	26	0
z_C	290	305	305	350	350	354	355,91	388	390	390

Для сокращения объема вычислений можно совместить системы координат станка и детали с помощью «плавающего нуля». В рассматриваемом случае этот прием позволит исключить пересчет опорных точек контура вала из системы координат детали в систему координат станка при программировании обработки заготовки в установке с ориентацией заготовки, прямой по отношению к чертежу детали.

Расчет опорных точек траектории инструмента

Траекторию инструмента рассчитывают для определенной его точки. Для концевой инструмента это центр основания, а для резцов — настроечная точка или центр закругления при вершине. Траектория центра инструмента в плоскости обработки в большинстве случаев представляет собой линию, эквидистантную к обрабатываемому контуру.

Эквидистанта, как геометрическое место точек, равноудаленных от контура детали на расстояние, равное радиусу R_H инструмента, строится к элементам этого контура справа или слева в зависимости от расположения инструмента относительно обрабатываемого контура. Эквидистантой к отрезку прямой служит отрезок, параллельный данному (рис. 38, а), а к дуге окружности — дуга concentричной ей окружности с тем же центральным углом (рис. 38, б).

Метод соединения элементов эквидистанты выбирают в зависимости от угла (α), образованного соседними элементами контура, если смотреть со стороны расположения инструмента при обходе этого

контура (рис. 38, в и г). Этот угол для пары отрезков измеряют непосредственно между ними. Если же элементом контура является дуга окружности, то угол α измеряют относительно касательной к этой дуге в общей точке рассматриваемой пары элементов контура детали. Так, при $\alpha > 180^\circ$ элементы эквидистанты соединяются сопрягающимися дугами окружностей радиусом R_H , центры которых находятся в общих точках элементов контура, а при $\alpha < 180^\circ$ общей точкой элементов эквидистанты является точка пересечения

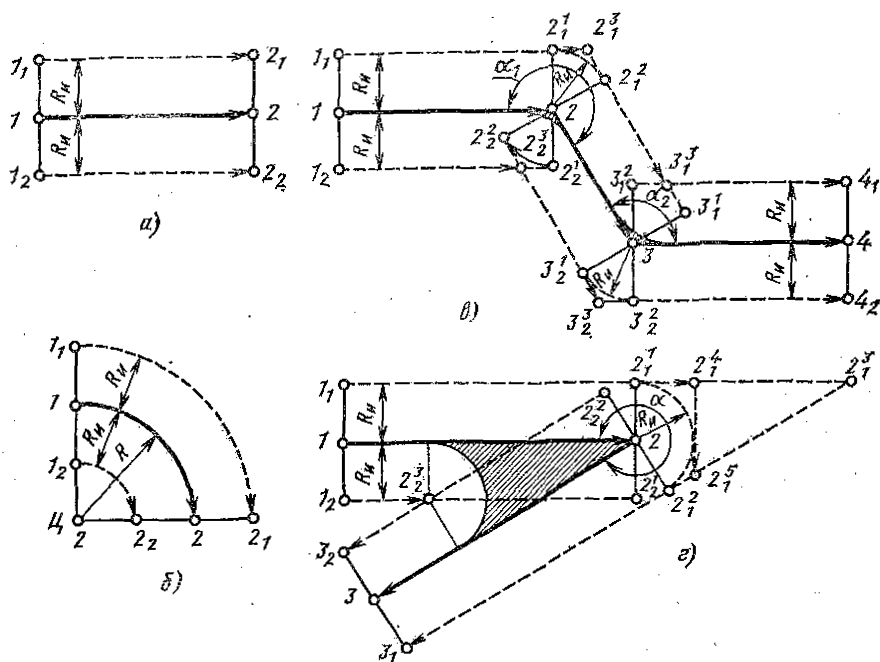


Рис. 38. Участки эквидистанты

этих элементов (рис. 38, в). Для сопряженных элементов контура ($\alpha = 180^\circ$) элементы эквидистанты также сопряжены.

Движение центра инструмента вдоль сопрягающей дуги окружности эквидистанты при обработке острого угла контура может привести к «зарезам» из-за изменения величин и направлений сил резания. Поэтому в этом случае более технологичной является траектория центра инструмента, в которой дуги сопрягающих окружностей заменены отрезками прямых, продолжающими участки эквидистанты к элементам контура. Для случая, приведенного на рис. 38, в, левой эквидистантой является линия $1_1-2_1^1-2_1^2-3_1^1-4_1$, а более технологичной траекторией — линия $1_1^1-2_1^3-3_1^3-4_1$. При обходе углов $\alpha > 300^\circ$ во избежание значительных отклонений траектории инструмента от эквидистанты необходимо произвести дополнительные построения. Примером такого построения может служить перпендикуляр, восстановленный из точки 2_1^1 (рис. 38, г).

Опорные точки траектории инструмента можно определять, непосредственно используя размеры на чертеже, не рассчитывая опорные точки контура детали. В случаях, когда программируют обработку сложного профиля или многопроходную контурную обработку, удобно вычислять координаты опорных точек траектории инструмента как приращения координат опорных точек контура детали.

Если учесть, что при известных опорных точках контура детали упрощается контроль и отладка УП, то целесообразность предварительного определения опорных точек контура очевидна.

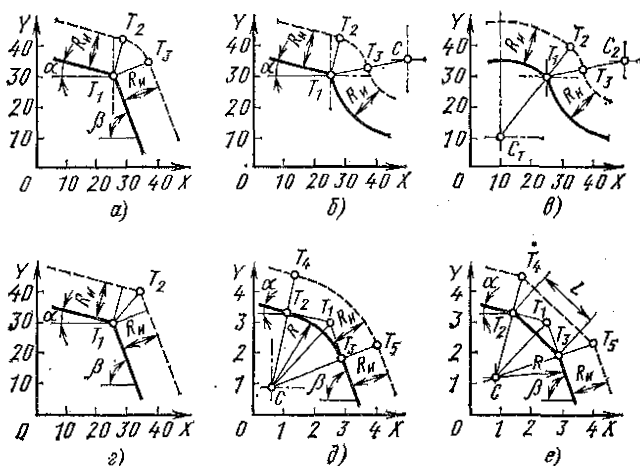


Рис. 39. Участки траектории инструмента

Вычисление опорных точек эквидистанты сводится к трем типовым случаям сопряжения дугой окружности радиусом $R_{И}$ участков эквидистанты к парам несопряженных геометрических элементов контура детали «прямая — прямая», «прямая — окружность» и «окружность — окружность». Способы определения точек сопряжения таких участков эквидистанты поясняются следующими примерами.

Пример 18. Определить точки сопряжения $T_2(x_2, y_2)$, $T_3(x_3, y_3)$ окружности радиусом $R_{И} = 12$ мм с участками эквидистанты к элементам контура «прямая—прямая» с общей опорной точкой $T_1(x_1 = 25$ мм; $y_1 = 30$ мм) и углами наклона прямых $\alpha = 15^\circ$, $\beta = 70^\circ$ (рис. 39, а).

Решение.

$$x_2 = x_1 + R_{И} \sin \alpha = 25 + 12 \sin 15^\circ = 28,11 \text{ мм};$$

$$y_2 = y_1 + R_{И} \cos \alpha = 30 + 12 \cos 15^\circ = 41,59 \text{ мм};$$

$$x_3 = x_1 + R_{И} \sin \beta = 25 + 12 \sin 70^\circ = 36,28 \text{ мм};$$

$$y_3 = y_1 + R_{И} \cos \beta = 30 + 12 \cos 70^\circ = 34,10 \text{ мм}.$$

Пример 19. Определить точки сопряжения $T_2(x_2, y_2)$, $T_3(x_3, y_3)$ окружности радиусом $R_{И} = 12$ мм с участками эквидистанты к элементам контура «прямая—окружность» с общей опорной точкой $T_1(x_1 = 25$ мм; $y_1 = 30$ мм), углом наклона прямой $\alpha = 15^\circ$ и центром окружности $G(x_G = 50$ мм; $y_G = 35$ мм) (рис. 39, б).

Решение.

$$R = \sqrt{(x_C - x_1)^2 + (y_C - y_1)^2} = \sqrt{(50 - 25)^2 + (35 - 30)^2} = 25,49 \text{ мм};$$

$$x_3 = x_1 + \frac{R_{II}(x_C - x_1)}{R} = 25 + \frac{12(50 - 25)}{25,49} = 36,77 \text{ мм};$$

$$y_3 = y_1 + \frac{R_{II}(y_C - y_1)}{R} = 30 + \frac{12(35 - 30)}{25,49} = 32,35 \text{ мм}.$$

Координаты точки $T_2(x_2, y_2)$ те же, что и в предыдущем примере.

Пример 20. Определить точки сопряжения $T_2(x_2, y_2)$, $T_3(x_3, y_3)$ окружности радиусом $R_{II} = 12$ мм с участками эквидистанты к элементам контура «окружность—окружность» с общей опорной точкой $T_1(x_1 = 25 \text{ мм}; y_1 = 30 \text{ мм})$ и центрами окружностей $C_1(x_{C_1} = 10 \text{ мм}; y_{C_1} = 10 \text{ мм})$, $C_2(x_{C_2} = 50 \text{ мм}; y_{C_2} = 35 \text{ мм})$ (рис. 39, в).

Решение.

$$R_1 = \sqrt{(x_1 - x_{C_1})^2 + (y_1 - y_{C_1})^2} = \sqrt{(25 - 10)^2 + (30 - 10)^2} = 25 \text{ мм};$$

$$x_2 = x_1 + \frac{R_{II}(x_1 - x_{C_1})}{R_1} = 25 + \frac{12(25 - 10)}{25} = 32,2 \text{ мм};$$

$$y_2 = y_1 + \frac{R_{II}(y_1 - y_{C_1})}{R_1} = 30 + \frac{12(30 - 10)}{25} = 39,6 \text{ мм}.$$

Координаты точки $T_3(x_3, y_3)$ те же, что и в предыдущем примере.

Опорную точку траектории инструмента для участка контура «прямая — прямая», лежащую на пересечении прямых, параллельных элементам контура, можно определить решением системы уравнений параллельных прямых. Способ определения этой точки из соотношений в треугольниках показан на следующем примере.

Пример 21. Определить точку пересечения $T_2(x_2, y_2)$ продолжений участков эквидистанты на расстоянии радиуса инструмента $R_{II} = 12$ мм к элементам контура «прямая—прямая» с общей опорной точкой $T_1(x_1 = 25 \text{ мм}; y_1 = 30 \text{ мм})$ и углами наклона прямых $\alpha = 15^\circ$, $\beta = 70^\circ$ (рис. 39, е).

Решение.

$$x_2 = x_1 + R_{II} \frac{\sin \frac{\alpha + \beta}{2}}{\cos \frac{\beta - \alpha}{2}} = 25 + 12 \frac{\sin \frac{15^\circ + 70^\circ}{2}}{\cos \frac{70^\circ - 15^\circ}{2}} = 34,15 \text{ мм};$$

$$y_2 = y_1 + R_{II} \frac{\cos \frac{\alpha + \beta}{2}}{\cos \frac{\beta - \alpha}{2}} = 30 + 12 \frac{\cos \frac{15^\circ + 70^\circ}{2}}{\cos \frac{70^\circ - 15^\circ}{2}} = 39,97 \text{ мм}.$$

Следующие два примера поясняют способы определения опорных точек контура и траектории инструмента при выполнении технологических указаний «Острые края скруглить» и «Острые кромки притупить».

Пример 22. Определить центр $C(x_C, y_C)$ и точки сопряжения $T_2(x_2, y_2)$, $T_3(x_3, y_3)$ окружности радиусом $R = 2,5$ мм с элементами контура «прямая—прямая» с общей опорной точкой $T_1(x_1 = 2,5 \text{ мм}; y_1 = 3,0 \text{ мм})$ и углами наклона прямых $\alpha = 15^\circ$, $\beta = 70^\circ$, а также точки сопряжения $T_4(x_4, y_4)$, $T_5(x_5, y_5)$ окружности с участками траектории инструмента радиусом $R_{II} = 1,2$ мм (рис. 39, д).

Решение.

$$x_C = x_1 - R \frac{\sin \frac{\alpha + \beta}{2}}{\cos \frac{\beta - \alpha}{2}} = 2,5 - 2,5 \frac{\sin \frac{15^\circ + 70^\circ}{2}}{\cos \frac{70^\circ - 15^\circ}{2}} = 0,6 \text{ мм};$$

$$y_C = y_1 - R \frac{\cos \frac{\alpha + \beta}{2}}{\cos \frac{\beta - \alpha}{2}} = 3 - 2,5 \frac{\cos \frac{15^\circ + 70^\circ}{2}}{\cos \frac{70^\circ - 15^\circ}{2}} = 0,92 \text{ мм};$$

$$x_2 = x_C + R \sin \alpha = 0,6 + 2,5 \sin 15^\circ = 1,25 \text{ мм};$$

$$y_2 = y_C + R \cos \alpha = 0,92 + 2,5 \cos 15^\circ = 3,33 \text{ мм};$$

$$x_3 = x_C + R \sin \beta = 0,6 + 2,5 \sin 70^\circ = 2,95 \text{ мм};$$

$$y_3 = y_C + R \cos \beta = 0,92 + 2,5 \cos 70^\circ = 1,78 \text{ мм};$$

$$x_4 = x_C + (R + R_H) \sin \alpha = 0,6 + (2,5 + 1,2) \sin 15^\circ = 1,56 \text{ мм};$$

$$y_4 = y_C + (R + R_H) \cos \alpha = 0,92 + (2,5 + 1,2) \cos 15^\circ = 4,49 \text{ мм};$$

$$x_5 = x_C + (R + R_H) \sin \beta = 0,6 + (2,5 + 1,2) \sin 70^\circ = 4,08 \text{ мм};$$

$$y_5 = y_C + (R + R_H) \cos \beta = 0,92 + (2,5 + 1,2) \cos 70^\circ = 2,19 \text{ мм}.$$

Пример 23. Определить опорные точки $T_2(x_2, y_2)$, $T_3(x_3, y_3)$ контура и $T_4(x_4, y_4)$, $T_5(x_5, y_5)$ траектории инструмента радиусом $R_H = 1,2$ мм при построении отрезка прямой длиной $l = 2$, притупляющего угол на участке контура «прямая—прямая» с общей опорной точкой $T_1(x_1 = 2,5 \text{ мм}; y_1 = 3 \text{ мм})$ и углами наклона прямых $\alpha = 15^\circ$, $\beta = 70^\circ$ (рис. 39, e).

Решение аналогично решению предыдущей задачи, если рассматривать отрезок l как хорду дуги окружности радиусом R с центром $C(x_C, y_C)$:

$$R = \frac{l}{2 \sin \frac{\beta - \alpha}{2}} = \frac{2}{2 \sin \frac{70^\circ - 15^\circ}{2}} = 2,17 \text{ мм};$$

$$x_C = x_1 - R \frac{\sin \frac{\alpha + \beta}{2}}{\cos \frac{\beta - \alpha}{2}} = 2,5 - 2,17 \frac{\sin \frac{15^\circ + 70^\circ}{2}}{\cos \frac{70^\circ - 15^\circ}{2}} = 0,85 \text{ мм};$$

$$y_C = y_1 - R \frac{\cos \frac{\alpha + \beta}{2}}{\cos \frac{\beta - \alpha}{2}} = 3 - 2,17 \frac{\cos \frac{15^\circ + 70^\circ}{2}}{\cos \frac{70^\circ - 15^\circ}{2}} = 1,2 \text{ мм}.$$

Тогда

$$x_2 = x_C + R \sin \alpha = 0,85 + 2,17 \sin 15^\circ = 1,41 \text{ мм};$$

$$y_2 = y_C + R \cos \alpha = 1,2 + 2,17 \cos 15^\circ = 3,3 \text{ мм};$$

$$x_3 = x_C + R \sin \beta = 0,85 + 2,17 \sin 70^\circ = 2,89 \text{ мм};$$

$$y_3 = y_C + R \cos \beta = 1,2 + 2,17 \cos 70^\circ = 1,94 \text{ мм};$$

$$x_4 = x_C + (R + R_H) \sin \alpha = 0,85 + (2,17 + 1,2) \sin 15^\circ = 1,72 \text{ мм};$$

$$y_4 = y_C + (R + R_H) \cos \alpha = 1,2 + (2,17 + 1,2) \cos 15^\circ = 4,46 \text{ мм};$$

$$x_5 = x_C + (R + R_H) \sin \beta = 0,85 + (2,17 + 1,2) \sin 70^\circ = 4,02 \text{ мм};$$

$$y_5 = y_C + (R + R_H) \cos \beta = 1,2 + (2,17 + 1,2) \cos 70^\circ = 2,35 \text{ мм}.$$

До расчета траектории инструментов при сверлильной обработке определяют предварительный состав переходов всех отверстий, выбирают инструментальную наладку, уточняют состав переходов и общую их последовательность. Далее строят схемы осевых перемещений инструментов относительно опорных точек отверстий и назначают режимы резания.

Например, предварительный состав переходов отверстий 1, 2, 3, 4, 5, 6 детали «крышка» (см. рис. 33) следующий: центрование, сверление, зенкование и развертывание отверстий 1 и 2, центрование, сверление, зенкование и нарезание резьбы отверстий 3, 4 и 5, сверление отверстия 6. С целью размещения всех необходимых инструментов в шестипозиционной револьверной головке сверлильного станка можно выбрать общий для переходов центрования и зенкования отверстий 1, 2, 3, 4 и 5 инструмент — сверло с $\varphi = 90^\circ$, и тогда инструментальная наладка имеет следующий состав (по позициям): 1) сверло ($\varphi = 90^\circ$) диаметром 16 мм; 2) сверло диаметром 9,9 мм; 3) развертка диаметром 10H8; 4) сверло диаметром 5 мм; 5) метчик М6; 6) сверло диаметром 22 мм. Общая последовательность переходов выбрана исходя из более производительного для рассматриваемого сверлильного станка варианта параллельной обработки и необходимости выполнения заключительных переходов обработки точных отверстий по варианту последовательной обработки, а именно: центрование с зенкованием отверстий 1, 2, 3, 4, 5, сверление и развертывание отверстий 1 и 2, сверление отверстий 3, 4 и 5 и нарезание в них резьбы, сверление отверстия 6. Схемы осевых перемещений для расчета опорных точек траектории инструментов при обработке отверстий 1, 2, 3, 4, 5, 6 приведены на рис. 40. На этих схемах номерами показаны последовательности опорных точек траектории инструментов, стрелками — направления рабочих (l_p) и холостых (l_x) ходов и направления вращения шпинделя. Знаком «х» обозначен выстой инструмента. Режимы резания для участков траектории даны в табл. 10.

На рис. 34 пунктиром показана траектория фрезы радиусом $R_{II} = 10$ при обходе наружного контура детали «крышка». Начало и конец траектории приняты в точке 1 ($x_1 = -25$ мм; $y_1 = 10$ мм; $z_1 = 40$ мм).

После опускания фрезы в точку 2 ($x_2 = -25$ мм; $y_2 = 10$ мм; $z_2 = -16$ мм) аппликата ее вершины не меняется до предпоследней точки траектории. Координаты опорных точек формообразующего участка траектории вычислены с помощью ранее определенных опорных точек контура детали:

$$x_3 = x_I + R_{II} = 170 + 10 = 180 \text{ мм};$$

$$y_3 = y_2 = -10 \text{ мм};$$

$$x_4 = x_3 = 180 \text{ мм};$$

$$y_4 = y_I + R_{II} = 40 + 10 = 50 \text{ мм};$$

$$x_5 = x_{II} = 150 \text{ мм};$$

$$y_5 = y_4 = 50 \text{ мм}.$$

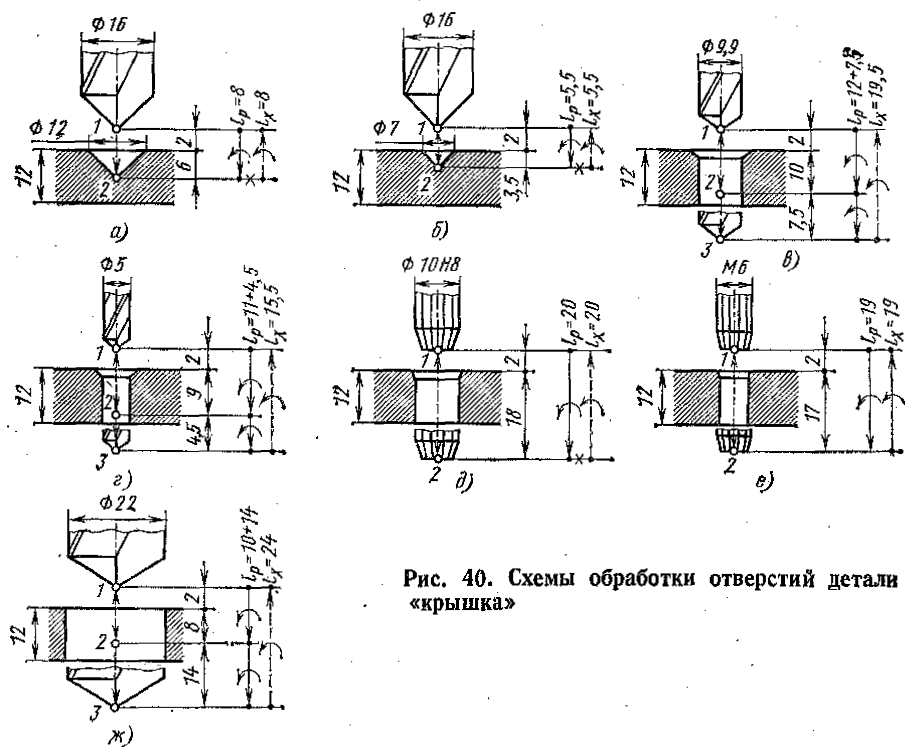


Рис. 40. Схемы обработки отверстий детали «крышка»

Таблица 10

Переход	№ отверстия (см. рис. 33)	Инструмент	Схема на рис. 40	Участок траекто- рин	SM^* м/мин	n , об/мин
Центрование зенкованием	1, 2	Сверло 16 мм	а	1—2	40	500
	3, 4, 5			1—2	40	
Сверление	1, 2	Сверло 9,9 мм	в	1—2	100	710
	3, 4, 5			2—3	80	
	1, 2	Сверло 5 мм	г	1—2	100	1400
	3, 4, 5			2—3	80	
	6	Сверло 22 мм	ж	1—2	100	355
	6			2—3	80	
Развертывание	1, 2	Развертка 10H8	д	1—2	50	125
Нарезание резьбы	3, 4, 5	Метчик М6	е	1—2	250	250

Из подобия треугольников EGH и FSQ

$$x_6 = x_F + FQ = x_F + R_{II} \frac{x_H - x_E}{R_1 + R_2} = 102 + 10 \frac{150 - 70}{40 + 60} = 110 \text{ мм};$$

$$y_6 = y_F + SQ = y_F + R_{II} \frac{R_2}{R_1 + R_2} = 64 + 10 \frac{60}{40 + 60} = 70 \text{ мм}.$$

Из прямоугольного треугольника NPE

$$\begin{aligned} x_7 &= x_E - NP = x_E - \sqrt{(R_1 + R_{II})^2 - R_1^2} = \\ &= 70 - \sqrt{(40 + 10)^2 - 40^2} = 40 \text{ мм}; \\ y_7 &= y_D + R_{II} = 70 + 10 = 80 \text{ мм}. \end{aligned}$$

Абсциссу точки 8 и ординату точки 9 определяют так же, как в примере 21:

$$x_8 = x_G - R_{II} \frac{\sin \frac{\alpha + \beta}{2}}{\cos \frac{\beta - \alpha}{2}} = 14,96 - 10 \frac{\sin \frac{0^\circ + 63,5^\circ}{2}}{\cos \frac{63,5^\circ - 0^\circ}{2}} = 8,77 \text{ мм};$$

$$y_8 = y_7 = 80 \text{ мм};$$

$$x_9 = x_B - R_{II} = 0 - 10 = -10 \text{ мм};$$

$$\begin{aligned} y_9 &= y_B + R_{II} \frac{\cos \frac{\alpha + \beta}{2}}{\cos \frac{\beta - \alpha}{2}} = 40 + \\ &+ 10 \frac{\cos \frac{63,5^\circ + 90^\circ}{2}}{\cos \frac{90^\circ - 63,5^\circ}{2}} = 42,36 \text{ мм}. \end{aligned}$$

Последний участок траектории вдоль контура строится с учетом перебега, равного радиусу фрезы:

$$x_{10} = x_9 = -10 \text{ мм};$$

$$y_{10} = y_A - R_{II} = 0 - 10 = -10 \text{ мм}.$$

Траектория фрезы при обработке отверстия диаметром 60 мм построена по принципу четырехполусной спирали для окружности радиусом $R_0 = 20$ мм и диаметра фрезы $D_\Phi = 2R_{II} = 20$ мм (рис. 41). Шаг спирали определен из условия $h = R_0/a = 20/2 = 10$ мм, где число витков спирали $a = 2$ выбрано как большее целое нижнего предела множества чисел, удовлетворяющих условию

$$\frac{R_0}{0,6D_\Phi} = \frac{20}{0,6 \cdot 20} = 1,67 \geq a \geq \frac{R_0}{0,8D_\Phi} = \frac{20}{0,8 \cdot 20} = 1,25 \text{ мм}.$$

Сторона четырехполусника $b = h/4 = 10/4 = 2,5$ мм.

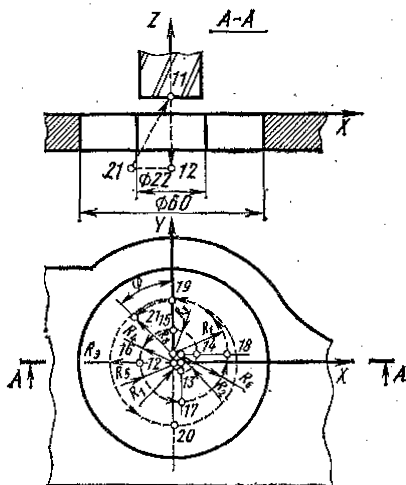


Рис. 41. Схема расфрезеровки отверстия диаметром 60 мм детали «крышка»

Координаты (мм) начальных точек (x_n, y_n) и центров ($x_{ц}, y_{ц}$) дуг окружностей участков спирали, вычисленные в местной системе координат XU , а также радиусы (R) этих дуг окружностей приведены в табл. 11.

Т а б л и ц а 11

Участок траектории	x_n	y_n	$x_{ц}$	$y_{ц}$	R
12—13	0	0	2,5	0	2,5
13—14	2,5	—2,5	2,5	0	5,0
14—15	7,5	2,5	0	2,5	7,5
15—16	0	10,0	0	0	10,0
16—17	—10,0	0	2,5	0	12,5
17—18	2,5	—12,5	2,5	2,5	15,0
18—19	17,5	2,5	0	2,5	17,5
19—20—19	0	20,0	0	0	20,0

Отвод фрезы от контура обработанного отверстия ведется по дуге окружности радиусом $R_B = 17,5$ мм с центром в полюсе ($x_{ц} = 0, y_{ц} = 2,5$ мм) до точки 21, определенной центральным углом $\varphi = 45^\circ$:

$$x_{21} = x_{ц} - R_B \cos \varphi = 0 - 17,5 \cos 45^\circ = -12,37 \text{ мм};$$

$$y_{21} = y_{ц} + R_B \sin \varphi = 2,5 + 17,5 \sin 45^\circ = 14,87 \text{ мм}.$$

Траекторию резца при токарной обработке контуров тел вращения определяют так же, как при фрезерной обработке, если рассматривать вершину резца как фрезу соответствующего диаметра. Однако при расчете траектории необходимо учитывать возможность обработки, соизмеряя главный и вспомогательный углы резца в плане с углами наклона обрабатываемых элементов контура.

При черновой обработке расчетной точкой резца служит не центр закругления при вершине, а настроечная точка, что несколько упрощает вычисление опорных точек траектории. Деление припуска на проходы при программировании вручную обычно ведут по ступеням обрабатываемого контура, если перепад между ступенями не превышает предельной глубины резания, ограниченной геометрией резца, силами резания или условиями виброустойчивости резания.

Например, при ручном программировании изготовления детали «вал» черновые проходы в первом установе (см. рис. 37, а) выбраны так, что в каждом из них снимается припуск одной из ступеней вала, кроме третьего прохода, обусловленного тем, что оставшийся над первой ступенью припуск больше предельной глубины резания $t_{пр} = 6$ мм. Более рациональное разделение на проходы связано с дополнительными вычислениями, которые оправданы в условиях большого объема серий изготавливаемых деталей или автоматизированной подготовки УП на ЭВМ.

Нарезание резьбы резцом программируется вручную преимущественно по схемам, приведенным на рис. 16, б, в или г, с равномерным разделением припуска на заданное число проходов. Более технологична, но более трудоемка при вычислениях, схема е. Пример ее реализации с разделением на проходы по закону геометрической прогрессии приведен для нарезания метрической резьбы на первой ступени второго установа обработки детали «вал». Исходными данными для расчета координат точек начал проходов служат диаметр резьбы $D = 30$ мм, шаг резьбы $P = 1,5$ мм, число проходов $k = 5$ и зазор между проходами $\varepsilon = 0,02$ мм (рис. 42).

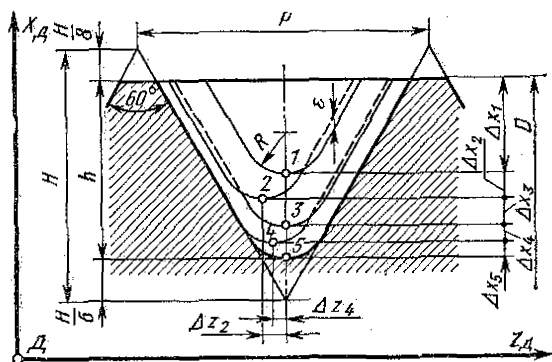


Рис. 42. Схема нарезания резьбы М30 детали «вал»

Высота исходного треугольника $H = P \sqrt{3}/2 = 1,5 \sqrt{3}/2 = 1,3$ мм.

Глубина разделяемой на проходы впадины

$$h = H - \frac{H}{8} - \frac{H}{6} = \frac{17}{24} 1,3 = 0,92 \text{ мм.}$$

Глубина проходов t_i , приращения координат Δx_i , Δz_i , рассчитанные по приведенным в разделе «Обработка винтовых поверхностей» формулам, и координаты (мм) точек начал проходов в системе координат станка

$$x_i = D - 2\Delta x_i,$$

$$z_i = L_{\text{уст } 2} + 3P + \Delta z_i$$

сведены в табл. 12.

Таблица 12

№ прохода i	t_i	Δx_i	Δz_i	x_i	z_i
1	0,41	-0,49	0	29,02	394,50
2	0,17	-0,15	-0,10	28,72	394,40
3	0,13	-0,11	0,10	28,50	394,50
4	0,11	-0,09	-0,06	28,32	394,44
5	0,10	-0,08	0,06	28,16	394,50

Аппроксимация дуги окружности

Траектория инструмента, состоящая из отрезков прямых и дуг окружностей, обрабатывается УЧПУ с линейно-круговым интерполятором. Для того чтобы обработать такую траекторию на станке с линейным интерполятором, дуги окружностей необходимо аппроксимировать.

Аппроксимация — это замена одной функциональной зависимости другой, более простой, с заданной точностью. Линейная аппроксимация дуги окружности предполагает замену этой дуги ломаной линией. Выбор метода аппроксимации дуги окружности — секущими, касательными или хордами — определяется расположением поля допуска. Общим случаем является аппроксимация секу-

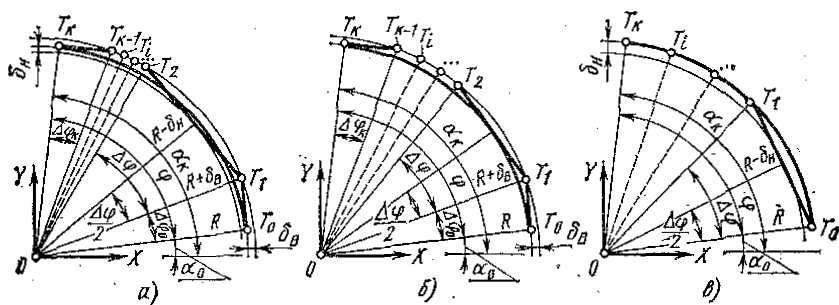


Рис. 43. Аппроксимация дуги окружности секущими (а), касательными (б) и хордами (в)

щими, когда заданы верхнее (δ_B) и нижнее (δ_H) отклонения радиуса дуги окружности (рис. 43, а). При $\delta_H = 0$ аппроксимация дуги ведется касательными (рис. 43, б), а при $\delta_B = 0$ — хордами (рис. 43, в).

Центральный угол φ аппроксимируемой дуги окружности равен разности углов (α_K и α_0), образованных радиусами, проведенными в конечную $T_K(x_K, y_K)$ и начальную $T_0(x_0, y_0)$ точки этой дуги:

$$\varphi = \alpha_K - \alpha_0 = \arccos \frac{x_K}{R} - \arccos \frac{x_0}{R}.$$

Шаг аппроксимации удобно выражать центральным углом $\Delta\varphi$, образованным радиусами, опирающимися на концы звеньев ломаной.

При аппроксимации хордами угол $\Delta\varphi$ предварительно вычисляют по формуле $\Delta\varphi = 2 \arccos \frac{R - \delta_H}{R}$.

Затем определяют число звеньев ломаной: $\varphi / \Delta\varphi = a$.

Величину a округляют до большего целого числа, после чего уточняют шаг аппроксимации: $\Delta\varphi = \varphi / a$.

При аппроксимации секущими или касательными начальное и конечное звенья ломаной определяются углами $\Delta\varphi_0$ и $\Delta\varphi_K$:

$$\Delta\varphi_0 = \Delta\varphi_K = \arccos \frac{R}{R + \delta_B}.$$

Шаг остальных звеньев ломаной предварительно вычисляется по формулам $\Delta\varphi = 2 \operatorname{arccos} \frac{R - \delta_H}{R + \delta_B}$ при аппроксимации секущими и $\Delta\varphi = 2 \operatorname{arccos} \frac{R}{R + \delta_B}$ при аппроксимации касательными. Уточнение этого шага производится так же, как и при аппроксимации хордами.

Углы наклона радиусов, проведенных в опорные точки звеньев ломаной, к оси абсцисс можно определить по формулам $\alpha_i = \alpha_0 + i\Delta\varphi$ при аппроксимации хордами и $\alpha_i = \alpha_0 + \Delta\varphi_0 + (i - 1)\Delta\varphi$ при аппроксимации секущими или касательными. Здесь i — номер опорной точки ($i = 1, 2, \dots, k$).

Координаты опорных точек звеньев ломаной вычисляют по формулам

$$x_i = R \cos \alpha_i;$$

$$y_i = R \sin \alpha_i$$

при аппроксимации хордами и по формулам

$$x_i = (R + \delta_B) \cos \alpha_i;$$

$$y_i = (R + \delta_B) \sin \alpha_i$$

при аппроксимации секущими или касательными.

Пример линейной аппроксимации дуги окружности. Параметры: $R = 150$ мм; $\alpha_0 = 0^\circ$; $\alpha_K = 60^\circ$; $\delta_H = 0,05$ мм; $\delta_B = 0,1$ мм.

Так как $\delta_H \neq 0$ и $\delta_B \neq 0$, аппроксимация дуги ведется методом секущих (рис. 43, а).

Центральный угол аппроксимируемой дуги

$$\varphi = \alpha_K - \alpha_0 = 60^\circ - 0^\circ = 60^\circ.$$

Центральные углы первого и последнего звеньев ломаной

$$\Delta\varphi_0 = \Delta\varphi_K = \operatorname{arccos} \frac{R}{R + \delta_B} = \operatorname{arccos} \frac{150}{150 + 0,1} = 2,092^\circ.$$

Предварительное значение центральных углов звеньев ломаной

$$\Delta\varphi = 2 \operatorname{arccos} \frac{R - \delta_H}{R + \delta_B} = 2 \operatorname{arccos} \frac{150 - 0,05}{150 + 0,1} = 5,124^\circ.$$

Число звеньев ломаной (без первого и последнего)

$$a = \frac{\varphi - (\Delta\varphi_0 + \Delta\varphi_K)}{\Delta\varphi} = \frac{60^\circ - (2,092^\circ + 2,092^\circ)}{5,124^\circ} = 10,893 \approx 11.$$

Уточненное значение центральных углов звеньев ломаной

$$\Delta\varphi = \frac{\varphi - (\Delta\varphi_0 + \Delta\varphi_K)}{a} = \frac{60^\circ - (2,092^\circ + 2,092^\circ)}{11} = 5,074^\circ.$$

Тогда координаты первой и последней точек ломаной

$$x_0 = R \cos \alpha_0 = 150 \cos 0^\circ = 150,00;$$

$$y_0 = R \sin \alpha_0 = 150 \sin 0^\circ = 0;$$

$$x_K = R \cos \alpha_K = 150 \cos 60^\circ = 75 \text{ мм};$$

$$y_K = R \sin \alpha_K = 150 \sin 60^\circ = 129,9 \text{ мм}.$$

Координаты остальных точек ломаной приведены в табл. 13.

№ точки	Угол $\alpha_i, ^\circ$	Координаты, мм		№ точки	Угол $\alpha_i, ^\circ$	Координаты, мм	
		x_i	y_i			x_i	y_i
1	2,092	149,99	5,48	7	32,536	126,54	80,73
2	7,166	148,93	18,72	8	37,610	118,91	91,60
3	12,240	146,69	31,82	9	42,684	110,42	101,76
4	17,314	143,30	44,67	10	47,758	100,91	111,12
5	22,388	138,79	57,17	11	52,832	90,68	119,61
6	27,462	133,19	69,22	12	57,908	79,75	127,16

Координаты опорных точек траектории инструмента записывают в операционную расчетно-технологическую карту для последующего расчета перемещений рабочих органов станка с учетом дискретности их задания в конкретной системе ЧПУ.

Элементы контуров кулачков, копиров, шаблонов и некоторых других деталей представляют собой кривые, получаемые расчетным или экспериментальным путем. Для изготовления таких деталей на станках с ЧПУ кривые, заданные аналитически или таблицами координат опорных точек, необходимо аппроксимировать с учетом возможностей конкретных интерполяторов.

Аппроксимация таблично заданных кривых

Аппроксимацию таблично заданных кривых (ТЗК) отрезками прямых и дугами окружностей производят при использовании УЧПУ с линейно-круговыми интерполяторами. Если контур детали задан уравнением вида $y = f(x)$ (рис. 44, а), то его несложно перевести в ТЗК, вычислив значения функции через определенные интервалы аргумента (рис. 44, б).

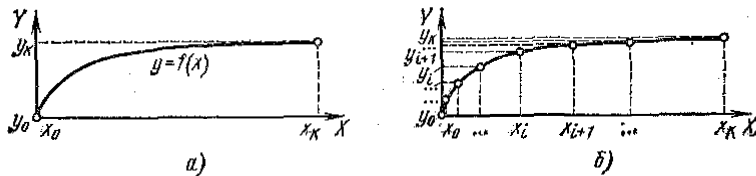


Рис. 44. Аналитически и таблично заданные кривые

Наиболее простыми методами построения аппроксимирующей линии являются линейная и круговая аппроксимация ТЗК.

Линейную аппроксимацию ТЗК, так же как и линейную аппроксимацию дуги окружности, можно производить секущими, касательными или хордами. Наиболее распространенная аппроксимация хордами соответствует соединению опорных точек ТЗК отрезками прямых (рис. 45, а). При линейной аппроксимации кривой, заданной уравнением, интервалы между опорными точками выби-

рают с учетом допустимых отклонений точек, принадлежащих отрезкам ломаной, относительно точек аналитически заданной кривой.

Круговая аппроксимация ТЗК предполагает соединение опорных точек сопряженными дугами окружностей (рис. 45, б). Этот метод

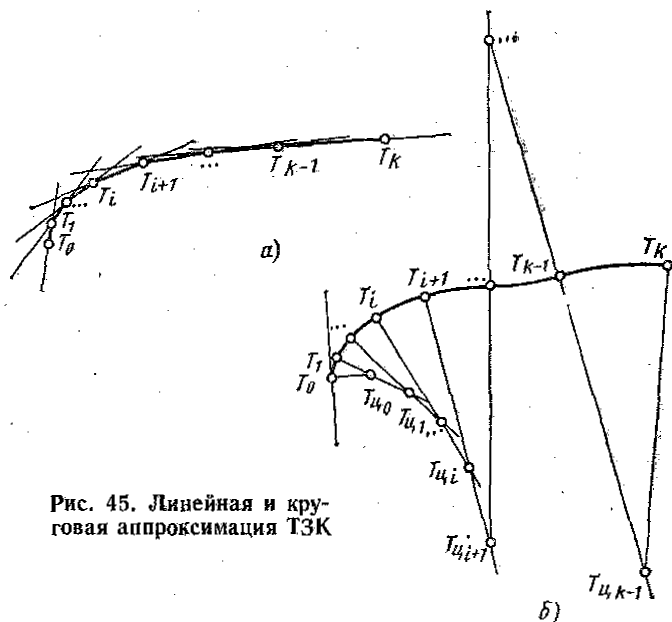


Рис. 45. Линейная и круговая аппроксимация ТЗК

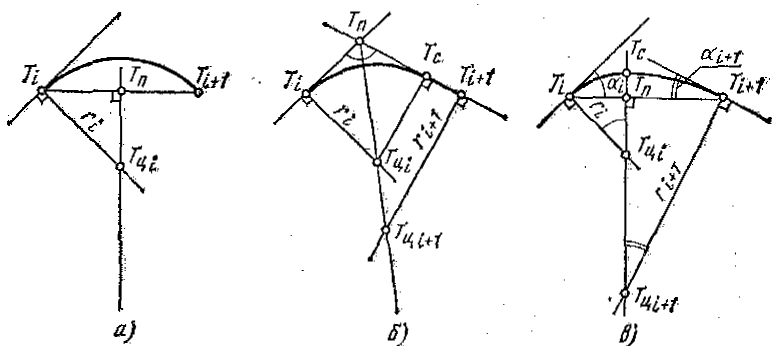


Рис. 46. Участки аппроксимации между опорными точками ТЗК

требует задания в начальной точке касательной, с помощью которой через первые две точки проводится дуга окружности (рис. 46, а). После этого можно определить касательную во второй точке ТЗК как касательную к первой окружности в этой точке и провести дугу окружности через вторую и третью точки и т. д.

Выбор метода построения аппроксимирующей линии зависит от предъявляемых к ней требований. Чаще всего необходимо выполнить следующие условия.

1. Элементы аппроксимирующей линии должны быть сопряжены, это, с одной стороны, определяется функциональным назначением детали, а с другой, — требованием обработки контура без видимой «огранки», ухудшающей «товарный вид» изделия. Линейная аппроксимация ТЗК нарушает эти условия, и поэтому ее применяют только для контуров с небольшой кривизной.

2. Аппроксимирующая линия должна иметь только заданные в таблице точки перегиба. Выполнение этого условия позволяет получить «плавный» контур без биений, возникающих, например, при круговой аппроксимации ТЗК, когда центры сопряженных дуг окружностей при небольшой кривизне контура располагаются попеременно по обе его стороны (см. рис. 45, б).

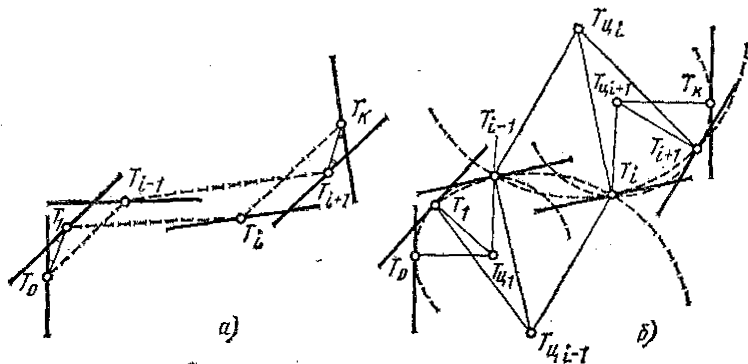


Рис. 47. Касательные в опорных точках ТЗК

3. Аппроксимирующая линия должна проходить через все опорные точки. Это объясняется, во-первых, тем, что опорные точки служат для контроля обработанного контура, в связи с чем их координаты желательно строго выдерживать, а, во-вторых, тем, что решение задачи аппроксимации ТЗК значительно упрощается при точном проведении линии через заданные опорные точки. Более сложные методы, реализуемые на ЭВМ, позволяют выбирать элементы аппроксимирующей линии, проходящие в поле допуска одновременно нескольких опорных точек, что значительно сокращает число кадров УП.

Для построения аппроксимирующей линии, удовлетворяющей всем трем поставленным условиям, в каждой опорной точке ТЗК необходимо предварительно определить касательные.

За касательную в опорной точке T_i можно принять прямую, параллельную секущей, соединяющей соседние с ней опорные точки T_{i-1} и T_{i+1} (рис. 47, а). Касательные в первой и последней опорных точках ТЗК, если эти касательные не заданы, строят так, чтобы углы их наклона к прямой, соединяющей крайнюю точку с соседней, были равны.

Более корректно строить касательную к аппроксимирующей линии в опорной точке T_i как касательную к окружности, проведенной через три точки T_{i-1} , T_i и T_{i+1} (рис. 47, б). Если касатель-

ные в первой и последней опорных точках не заданы, то они строятся к окружностям, которые проведены для определения касательных во второй и предпоследней опорных точках.

Участком аппроксимирующей линии между двумя соседними опорными точками T_i и T_{i+1} , в которых одним из описанных методов определены касательные, служат сопряженные дуга окружности и отрезок прямой или две сопряженные дуги окружностей.

При построении сопряженных дуги окружности и отрезка прямой (см. рис. 46, б) определяют точки пересечения нормалей в опорных точках T_i и T_{i+1} с биссектрисой угла между касательными в этих опорных точках. Центром искомой дуги окружности является та из точек пересечения $T_{цi}$ или $T_{цi+1}$, которая расположена ближе к точке пересечения касательных $T_{п}$, а искомым отрезком прямой — отрезок касательной между опорной точкой и точкой сопряжения T_c найденной дуги окружности с этой касательной.

Более плавная аппроксимирующая линия составляется из участков, каждый из которых образован сопряженными дугами окружностей (см. рис. 46, в). Центры этих окружностей $T_{цi}$ и $T_{цi+1}$ находятся в точках пересечения нормалей в опорных точках T_i и T_{i+1} с перпендикуляром к прямой, проходящей через эти опорные точки. Перпендикуляр восстанавливают в точке $T_{п}$, которая делит отрезок $T_i T_{i+1}$ на две части:

$$l_i = r_i \sin \alpha_i;$$

$$l_{i+1} = r_{i+1} \sin \alpha_{i+1},$$

где l_i и l_{i+1} — длины отрезков соответственно $T_i T_{п}$ и $T_{п} T_{i+1}$; r_i и r_{i+1} — радиусы искомых дуг окружностей; α_i и α_{i+1} — углы наклона касательных в точках T_i и T_{i+1} к секущей, соединяющей эти опорные точки.

Радиусы искомых дуг окружностей определяют из соотношений

$$d = l_i + l_{i+1} = r_i \sin \alpha_i + r_{i+1} \sin \alpha_{i+1};$$

$$c = r_i (1 - \cos \alpha_i) = r_{i+1} (1 - \cos \alpha_{i+1}),$$

откуда

$$r_i = \frac{d (1 - \cos \alpha_i)}{(1 - \cos \alpha_{i+1}) \sin \alpha_i + (1 - \cos \alpha_i) \sin \alpha_{i+1}};$$

$$r_{i+1} = \frac{d (1 - \cos \alpha_{i+1})}{(1 - \cos \alpha_{i+1}) \sin \alpha_i + (1 - \cos \alpha_i) \sin \alpha_{i+1}},$$

где d — длина отрезка $T_i T_{i+1}$; c — стрелка сопрягаемых дуг окружностей, равная длине отрезка $T_{п} T_c$.

Если рассчитанный радиус окружности превышает обрабатываемую интерполятором величину, то дуга окружности заменяется ее секущей.

3.3. СКОРОСТИ ДВИЖЕНИЯ РАБОЧИХ ОРГАНОВ СТАНКА

При обработке заготовки рабочие органы станка с ЧПУ совершают различные движения. Основных движений два: 1) главное движение — вращательное, обеспечивает необходимую скорость реза-

ния; 2) подача — поступательное движение — служит для образования требуемой формы изделия. К вспомогательным движениям относят ускоренный подвод и отвод, смену и коррекцию положения инструмента, а также другие движения, необходимые для выполнения рабочих ходов.

Скорость резания и подачу определяют в процессе расчета режимов резания по нормативам [15].

Главное движение сообщается рабочим органам станка, несущим инструмент (например, в сверлильных и фрезерных станках) или обрабатываемую заготовку (например, в токарных станках). Подача обеспечивается движением рабочих органов станка, на которых закреплен инструмент (например, в токарных станках) или заготовка, либо тех и других рабочих органов в зависимости от конструкции станка.

Скорость резания

Скорость резания, определяемая частотой вращения шпинделя, регулируется либо бесступенчато, либо переключением ряда частот вращения шпинделя. Зависимость между частотой вращения шпинделя n и скоростью резания v имеет вид $n = 1000v/(\pi d)$, где d — диаметр вращающегося инструмента (для сверлильных, фрезерных и

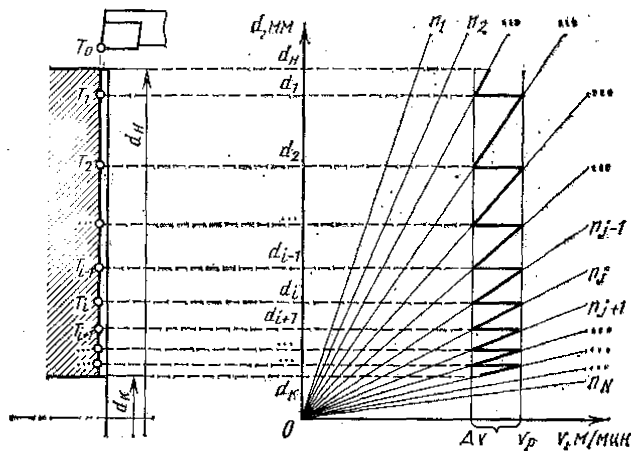


Рис. 48. Изменение скорости резания при токарной обработке торца

т. п. станков) или диаметр обрабатываемой поверхности вращающейся заготовки (для станков токарной группы).

При бесступенчатом регулировании частоты вращения шпинделя заданная скорость резания реализуется практически без отклонений, а при ступенчатом — отклонения определяются параметрами ряда частот вращения шпинделя.

Ряд частот вращения шпинделя n_j ($j = 1, 2, \dots, N$), как правило, строят по закону геометрической прогрессии со знаменателем ϕ $n_j = n_1 \phi^{j-1}$.

Для горизонтальных проходов ($D = \text{const}$) необходимо выбрать одну из двух соседних частот вращения ряда n_j и n_{j+1} , в интервале которых лежит требуемая частота n_p , обеспечивающая заданную скорость резания v_p . В связи с тем, что превышение технологически обоснованной скорости резания нежелательно, из двух соседних частот вращения ряда выбирают ту, которая соответствует меньшему значению скорости резания.

Для наклонных или вертикальных проходов ($D = \text{var}$) например, при обработке торца заготовки на токарном станке, рабочий ход разбивается на участки элементарных перемещений, между которыми переключается частота вращения шпинделя. В зависимости от того, уменьшается или увеличивается диаметр, частота вращения шпинделя определяется соответственно начальным или конечным диаметрами на этих участках и заданной скоростью резания.

Наибольшее отклонение от заданной скорости на каждом участке $\Delta v = v_p \frac{\varphi - 1}{\varphi}$.

На рис. 48 приведен график изменения скорости резания при обработке торца заготовки в направлении от периферии к центру. Переключение частот вращения шпинделя производится в точках траектории резца T_i , в которых для диаметров d_i и данного ряда частот вращения n_j скорость равна заданной скорости резания v_p .

Скорость подачи

Для всех участков траектории в УП должна быть определена скорость движения инструмента относительно детали. Обычно эта скорость задается значением минутной подачи. Для токарной обработки минутная подача $S_m = sn$, а для фрезерной обработки $S_m = s_z z_f n$, где s — подача на оборот; s_z — подача на зуб фрезы; z_f — число зубьев фрезы.

Вспомогательные перемещения производятся на максимально возможной рабочей скорости подачи или в режиме быстрого хода.

Характер движения рабочих органов станка при реализации заданной скорости подачи определяется принципом управления СЧПУ и конструктивными особенностями станка.

Для станков с позиционными СЧПУ участок траектории задается координатами начальной и конечной точек, причем позиционирование ведется в конечную точку этого участка. В зависимости от требований к точности отработки координат применяются различные режимы и схемы позиционирования.

При невысоких требованиях к точности команда на останов рабочего органа выдается по сигналу датчика положения, срабатывающего в момент прохождения заданной координаты на большой скорости. «Разброс» пути при таком способе позиционирования довольно велик. Повышение точности позиционирования достигается путем перехода перед остановом на доводочную «ползучую» скорость. Движение с этой скоростью из-за большого «разброса» пути имеет большую продолжительность. Для сокращения времени на позиционирование вводится многоступенчатое торможение.

Пусть, например, рабочий орган станка требуется привести в координату точки 7 (рис. 49). На участке пути 0—1 рабочий орган станка разгоняется до заданной рабочей скорости подачи S_p и с этой скоростью проходит участок 1—2.

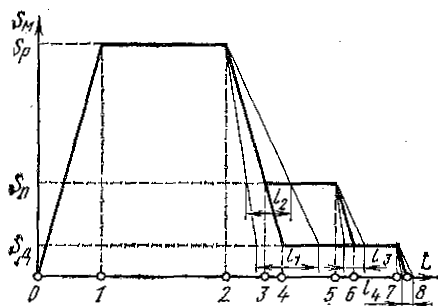


Рис. 49. Изменение скорости подачи при позиционном управлении

В точке 2 пути дается команда на торможение. При одноступенчатом торможении переход на доводочную скорость подачи S_H может произойти в любой точке в пределах разброса пути l_1 , например в точке 4. Тогда остальной путь на участке 4—7 рабочий орган пройдет с этой доводочной скоростью. При двухступенчатом торможении в точке 2 дается команда на снижение скорости подачи до промежуточной S_H , переход на которую может произойти в любой точке в пределах разброса пути l_2 , например в точке 3. Участок 3—5 рабочий орган проходит на промежуточной скорости, и в точке 5 дается команда на второе торможение, которое осуществляется в пределах разброса пути l_3 . Участок 6—7 рабочий орган проходит на доводочной скорости, и в точке 7, соответствующей заданной координате, дается команда на останов. Последний участок пути 7—8, называемый выбегом, рабочий орган проходит с разбросом пути l_4 . Для уменьшения ошибки позиционирования, применяют интенсивное торможение и различные схемы движения, в том числе перебеги и возврат в заданную позицию.

Для станков с непрерывными СЧПУ преимущественно задается контурная скорость подачи, которая раскладывается системой управления на составляющие для отдельных рабочих органов станка.

При реализации заданной контурной скорости на каждом из участков траектории определяется необходимость разгона или торможения, в зависимости от значения этой скорости подачи на следующем участке. Разгон производится в начале участка, а торможение — в его конце, причем начало торможения определяется из условия возможности реализации на следующем участке любой

схемы движения. При одноступенчатом торможении переход на доводочную скорость подачи S_H может произойти в любой точке в пределах разброса пути l_1 , например в точке 4. Тогда остальной путь на участке 4—7 рабочий орган пройдет с этой доводочной скоростью. При двухступенчатом торможении в точке 2 дается команда на снижение скорости подачи до промежуточной S_H , переход на которую может произойти в любой точке в пределах разброса пути l_2 , например в точке 3. Участок 3—5 рабочий орган проходит на промежуточной скорости, и в точке 5 дается команда на второе торможение, которое осуществляется в пределах разброса пути l_3 . Участок 6—7 рабочий орган проходит на доводочной скорости, и в точке 7, соответствующей заданной координате, дается команда на останов. Последний участок пути 7—8, называемый выбегом, рабочий орган проходит с разбросом пути l_4 . Для уменьшения ошибки позиционирования, применяют интенсивное торможение и различные схемы движения, в том числе перебеги и возврат в заданную позицию.

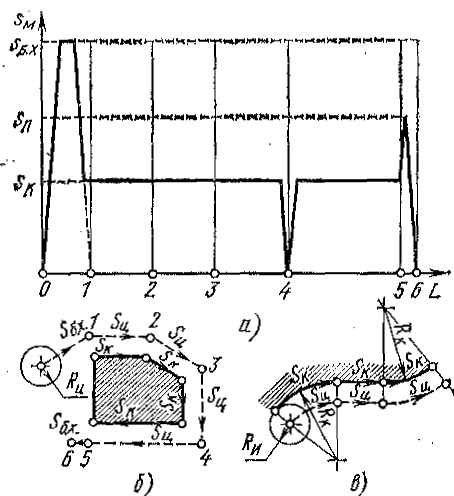


Рис. 50. Изменение скорости подачи при непрерывном управлении

скорости подачи. Это означает, что тормозной путь всегда не меньше, чем необходимый для торможения до полного останова, независимо от скорости подачи на следующем участке. Когда длина участка меньше суммарного пути разгона и торможения, разгон производится только до скорости подачи, обеспечивающей торможение на этом участке.

Резкое изменение направления движения инструмента может привести к недопустимым динамическим ошибкам в отработке траектории, что, например, имеет место при обходе прямых углов, когда один рабочий орган останавливается, а другой начинает движение. В этом случае на стыке участков траектории, несмотря на постоянство контурной скорости, вводится торможение.

На рис. 50 приведен график изменения скорости подачи (рис. 50, а) при движении инструмента по траектории (рис. 50, б), для первого и последнего участков которой заданы подвод и отвод на быстром ходу $S_{б.х.}$, а для остальных участков — некоторая контурная скорость подачи S_k . Тонкими линиями на графике показаны границы участков траектории. На участке 0—1 производится разгон до величины скорости быстрого хода $S_{б.х.}$, собственно быстрый ход и торможение до величины скорости подачи на следующем участке. Участки 1—5 инструмент проходит на заданной контурной скорости подачи S_k , за исключением области стыка участков траектории в точке 4, где резкое изменение составляющих скорости требует ввода торможения на участке 3—4 и последующего разгона на участке 4—5. На последнем участке из-за небольшой его протяженности скорость быстрого хода достигает некоторого промежуточного значения S_n , после чего производится торможение до полного останова.

Задаваемая в УП скорость подачи S_n для движения центра инструмента по эквидистанте (рис. 50, б и в) на прямолинейных участках траектории совпадает с расчетной контурной скоростью S_k , а на криволинейных участках ее величина определяется с учетом радиусов обрабатываемого участка контура R_k и инструмента $R_{и.}$:

$$S_n = S_k \frac{R_k \pm R_{и.}}{R_k},$$

где знак «+» соответствует обработке выпуклого участка контура, а «—» — вогнутого.

Вычисленные значения частоты вращения шпинделя n_p и минутных подач S_m записывают в операционную расчетно-технологическую карту для последующего кодирования УП.

Технологический процесс обработки на станке с ЧПУ, детализированный до элементарных перемещений и технологических команд, служит исходной информацией для кодирования и записи УП. Методы и средства кодирования, записи, контроля и редактирования УП во многом зависят от функциональных возможностей УЧПУ и уровня автоматизации процесса подготовки УП. Структуру УП, ее формат и методы кодирования управляющей информации, вводимой с перфолент, определяет ГОСТ 20999—78, соответствующий рекомендациям СЭВ и ИСО.

4.1. СТРУКТУРА И ФОРМАТ УП

УП записывается на программоноситель в виде последовательности кадров, представляющих собой законченные по смыслу фразы на языке кодирования технологической, геометрической и вспомогательной информации. Отдельные последовательности кадров для обработки участков заготовки объединяются в главы УП, каждая из которых начинается с главного кадра. Главный кадр содержит начальную информацию об условиях обработки, и с него можно начинать или возобновлять работу станка по УП. Остальные кадры главы УП несут только измененную по отношению к предыдущим кадрам часть информации и называются дополнительными кадрами.

Кадры состоят из слов, расположенных в определенном порядке, а слова — из символов. Первый символ слова является буквой, обозначающей адрес, а остальные символы образуют число со знаком или целочисленный код. Обозначение адресов приведено в табл. 14.

Кадр УП содержит слово «Номер кадра» и одно или несколько информационных слов. К информационным относятся слова «Подготовительная функция», «Размерное перемещение», «Функция подачи», «Скорость главного движения», «Функция инструмента» и «Вспомогательная функция». В кадре эти слова имеют ту же последовательность.

Номер кадра

Слово «Номер кадра» служит для обозначения элементарного участка УП и является вспомогательной информацией. Номер кадра задается адресом N и целым десятичным числом. Рациональна последовательная нумерация кадров, однако допускаются любые переходы номеров и оговаривается только их неповторяемость в пределах одной УП. При нумерации вставляемых в процессе редактиро-

Символы адресов	Значения символов адресов
A, B и C	Угловые перемещения соответственно вокруг осей X, Y и Z
D	Угловое перемещение вокруг специальной оси или третья функция подачи, или функция коррекции инструмента
E	Угловое перемещение вокруг специальной оси или вторая функция подачи
F	Функция подачи
G	Подготовительная функция
H	Не определен
I, J и K	Параметры интерполяции или шаги резьбы соответственно вдоль осей X, Y и Z
L	Не определен
M	Вспомогательная функция
N	Номер кадра
P и Q	Третьи функции перемещений, параллельных соответственно осям X и Y, или параметры коррекции инструмента
R	Перемещение на быстром ходу по оси Z или третья функция перемещения, параллельного оси Z, или параметр коррекции инструмента
S	Скорость главного движения
T	Функция инструмента
U, V и W	Вторые функции перемещений, параллельных соответственно осям X, Y и Z
X, Y и Z	Перемещения соответственно по осям X, Y и Z

Примечание. Если символы D, E, P, Q, R, U, V, W не используются в УЧПУ в указанных в табл. 14 значениях, они могут быть применены в качестве других специальных значений.

вания новых кадров во избежание изменения ранее установленной последовательности их номеров практикуется запись новых номеров с использованием более высоких разрядов десятичных чисел. Например, если после кадра N107 необходимо вставить несколько новых кадров, их можно нумеровать N10701, N10702, N10703 и т. д. В главном кадре вместо адреса N предусмотрена запись символа «:», который может быть использован для останова при обратной перемотке перфоленты.

Подготовительные функции

Слово «Подготовительная функция» определяет режим работы УЧПУ. Эти слова задаются адресом G и двухзначным десятичным числом. Назначение подготовительных функций указано в табл. 15.

Неуказанные коды подготовительных функций предназначены для индивидуального использования по усмотрению разработчиков УЧПУ. Номер группы, расположенный во второй колонке, указывает, что функция G действует до тех пор, пока она не будет заменена или отменена другой функцией из той же группы. Прочерк в этой колонке означает, что функция действует только в том кадре, в ко-

Подготовительная функция	Признак	Значение
G00	I	Позиционирование. Перемещение на быстром ходу в заданную точку. Ранее заданная рабочая подача не отменяется. Перемещения по осям могут быть некоординированы
G01	I	Линейная интерполяция. Перемещение с запрограммированной подачей по прямой к точке
G02 и G03	I	Круговая интерполяция. Движение по дуге соответственно в отрицательном и положительном направлении с запрограммированной подачей
G04	—	Пауза. Выдержка в отработке на определенное время, установленное на пульте или заданное в кадре
G06	I	Параболическая интерполяция. Движение по параболе с запрограммированной подачей
G08	—	Разгон. Плавное увеличение скорости подачи до запрограммированного ее значения в начале движения
G09	—	Торможение в конце кадра. Плавное уменьшение скорости подачи до фиксированного значения при приближении к заданной точке
G17, G18, G19	II	Плоскость обработки. Задание соответственно плоскостей XY, ZX и YZ для таких функций, как круговая интерполяция, коррекция режущего инструмента и др.
G33, G34, G35	I	Резьба. Нарезание резьбы соответственно с постоянным, увеличивающимся и уменьшающимся шагами
G40	III	Отмена коррекции инструмента, заданной одной из функций G41—G52
G41 и G42	III	Коррекция диаметра или радиуса инструмента при контурном управлении. Режущий инструмент расположен соответственно слева или справа от обрабатываемой поверхности, если смотреть в направлении движения инструмента
G43 и G44	III	Коррекция диаметра или радиуса инструмента соответственно положительная или отрицательная. Указание соответственно о сложении (или вычитании) значения смещения инструмента, установленного на пульте, с заданными в кадрах координатами

Подготови- тельная функция	Приз- нак	Значение
G45—G52	III	Коррекция диаметра или радиуса инструмента при прямо- линейном формообразовании: G45+/-+, G46+/--, G47-/-+, G48-/-+, G49 0/+, G50 0/--, G51+/-0, G52-/-0. Значения «+», «-» и «0» соответственно указывают, что к заданным в кадрах координатам будут добавлены, вычтены установленные на пульте величины или эти величины не будут учтены
G53	IV	Отмена линейного сдвига, заданного одной из функций G54—G59
G54—G59	IV	Линейный сдвиг соответственно по X, Y, Z, XY, ZX и YZ. Коррекция длины или положения инструмента на величину, установленную на пульте
G60 и G61	V	Точное позиционирование. Позиционирование в пределах одной или двух из зон допуска, а также выбор стороны под- хода при позиционировании
G62	V	Быстрое позиционирование. Позиционирование с большой зоной допуска для экономии времени
G63	—	Нарезание резьбы метчиком. Позиционирование с остановом шпинделя по достижении заданного положения
G80	VI	Отмена постоянного цикла, заданного одной из функций G81—G89
G81—G89	VI	Постоянные циклы. Часто применяемые при обработке отвер- стий последовательности команд. Состав постоянных циклов приведен в табл. 16
G90	VII	Абсолютный размер. Отсчет перемещений в абсолютной системе координат с началом в нулевой точке системы ЧПУ
G91	VII	Размер в приращениях. Отсчет перемещений относительно предыдущей запрограммированной точки
G92	—	Установка абсолютных накопителей положения
G94 и G95	VIII	Единица измерения соответственно мм/мин и мм/об
G96	IX	Единица измерения скорости резания м/мин. Запрограммиро- ванное значение скорости резания поддерживается автомати- чески регулированием частоты вращения шпинделя
G97	IX	Единица измерения главного движения об/мин

тором она указана. Подготовительные функции записываются в кадре последовательно друг за другом в порядке возрастания их кодовых номеров. В кадре не может быть записано более одной подготовительной функции из каждой группы.

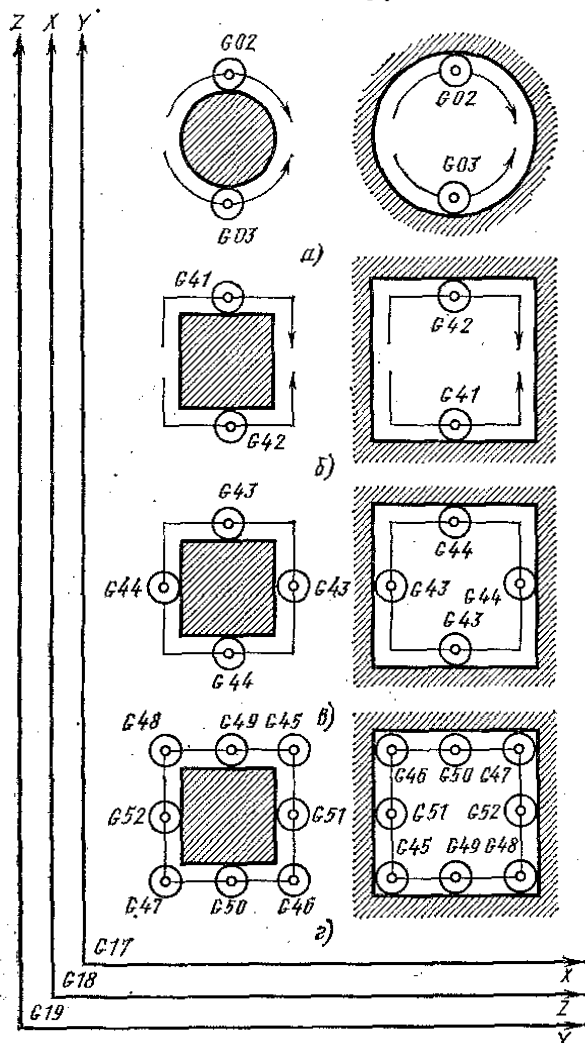


Рис. 51. Подготовительные функции, определяющие движение вдоль дуги окружности и коррекцию инструмента

На рис. 51 иллюстрируется кодирование: функций G02 и G03 (рис. 51, а), G41 и G42 (рис. 51, б), G43 и G44 (рис. 51, в) и G45—G52 (рис. 51, г).

Размерные перемещения

Слово «Размерное перемещение» предназначено для задания геометрической информации. Эти слова записываются в кадре в следующей последовательности адресов: X, Y, Z, U, V, W, P, Q, R, I, J, K, A, B, C, D, E.

Т а б л и ц а 16

Постоянный цикл	Действие перед обработкой	Движение в процессе обработки	Действие после обработки	Движение в исходное положение	Типовое использование	
G81	—	Рабочий ход	—	Быстрый отвод	Сверление, центрование	
G82		Выстой	Сверление, зенкование			
G83		Подача с периодическим выводом инструмента	—		Глубокое сверление	
G84	Включение вращения шпинделя в заданном направлении	Рабочий ход	Резерв шпинделя	Отвод на рабочей подаче	Нарезание резьбы метчиком	
G85	—		—			
G86	Включение шпинделя		Останов шпинделя	Быстрый отвод	Растачивание	
G87			Выстой, останов шпинделя	Отвод вручную		
G88				Отвод на рабочей подаче		
G89	—		Выстой	Отвод на рабочей подаче		

Числа слов «Размерные перемещения» означают либо координаты опорных точек траектории инструмента — абсолютные размеры, либо приращения координат этих точек — размеры в приращениях. Размеры записываются целыми числами со знаками с учетом дискретности задания размеров для конкретных УЧПУ. Знак «+» может не

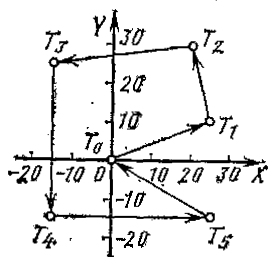


Рис. 52. Опорные точки траектории инструмента

указываться. Например, абсолютные размеры и размеры в приращениях (мм), характеризующие опорные точки траектории инструмента $T_0—T_5$ (рис. 52), записываются при дискретности задания размеров 0,001 мм числами (табл. 17).

Траектория инструмента может включать участки перемещений на быстром ходу и участки линейной, круговой или параболической интерполяции, которые инструмент проходит на рабочей подаче. Характер перемещения задается в кадре соответствующей подготовительной функцией: G00 (позиционирование), G01 (линейное переключение), G02 (круговая интерполяция по часовой стрелке) или G03 (круговая интерполяция против часовой стрелки), G06 (параболическая интерполяция), если она не была запрограммирована перед этим, с адресами размерных перемещений (X, Y, Z и т. п.).

Т а б л и ц а 17

Опорные точки	Абсолютные размеры		Размеры в приращениях	
	x	y	Δx	Δy
T_0	0	0	—	—
T_1	24 960	10 220	+24 960	+10 220
T_2	19 790	29 560	—5 170	+19 340
T_3	—15 000	25 180	—34 790	—4 380
T_4	—15 000	—15 000	0	—40 180
T_5	24 960	—15 000	+39 960	0
T_0	0	0	—24 960	+15 000
			$\Sigma \Delta x = 0$	$\Sigma \Delta y = 0$

Учитывая, что начальная точка каждого из участков траектории (кроме первого, в начальной точке которого инструмент должен находиться перед началом обработки) является одновременно конечной точкой предыдущего участка, в кадрах УП задается информация только о конечных точках.

Размерные перемещения на участке траектории, который инструмент проходит на быстром ходу, записываются в одном кадре для выполнения одновременного движения по заданным осям (рис. 53, а):

Абсолютные размеры

$$\begin{aligned} X &= x_I \\ Y &= y_I \end{aligned}$$

Размеры в приращениях

$$\begin{aligned} X &= x_I - x_0 \\ Y &= y_I - y_0 \end{aligned}$$

или в нескольких кадрах, если движение осуществляется отдельно по осям (эта траектория показана пунктиром):

Абсолютные размеры

$$\begin{aligned} \text{1-й кадр} \quad \{ X &= x_I \\ \text{2-й кадр} \quad \{ Y &= y_I \end{aligned}$$

Размеры в приращениях

$$\begin{aligned} \text{1-й кадр} \quad \{ X &= x_I - x_0 \\ \text{2-й кадр} \quad \{ Y &= y_I - y_0 \end{aligned}$$

Прямолинейный участок интерполяции задается конечной точкой (см. рис. 53, б):

Абсолютные размеры

$$\begin{aligned} X &= x_I \\ Y &= y_I \end{aligned}$$

Размеры в приращениях

$$\begin{aligned} X &= x_I - x_0 \\ Y &= y_I - y_0 \end{aligned}$$

Дуга окружности, лежащая в плоскости, параллельной одной из координатных плоскостей, задается одним из следующих наборов параметров (рис. 53, в):

конечной точкой и центром окружности:

Абсолютные размеры

$$\begin{aligned} X &= x_2 \\ Y &= y_2 \\ I &= x_C \\ J &= y_C \end{aligned}$$

Размеры в приращениях

$$\begin{aligned} X &= x_2 - x_0 \\ Y &= y_2 - y_0 \\ I &= x_C - x_0 \\ J &= y_C - y_0 \end{aligned}$$

конечной точкой, углом и радиусом:

Абсолютные размеры

$$\begin{aligned} X &= x_2 \\ Y &= y_2 \\ I &= \alpha \\ J &= R \end{aligned}$$

Размеры в приращениях

$$\begin{aligned} X &= x_2 - x_0 \\ Y &= y_2 - y_0 \\ I &= \alpha \\ J &= R \end{aligned}$$

конечной и промежуточной точками:

Абсолютные размеры

$$\text{1-й кадр} \quad \{ X = x_I \\ Y = y_I$$

$$\text{2-й кадр} \quad \{ X = x_2 \\ Y = y_2$$

Размеры в приращениях

$$\text{1-й кадр} \quad \{ X = x_I - x_0 \\ Y = y_I - y_0$$

$$\text{2-й кадр} \quad \{ X = x_2 - x_0 \\ Y = y_2 - y_0$$

Способ задания дуги окружности конечной точкой и центром наиболее распространен. При этом большинство УЧПУ предусматривает задание в одном кадре информации о части дуги, расположенной в пределах только одного квадранта. Так, например, изображен-

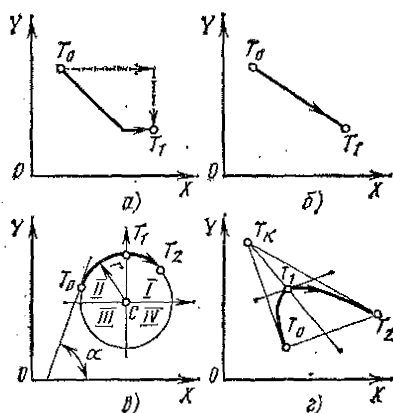


Рис. 53. Участки позиционирования и интерполяции

ная на рис. 53, в дуга окружности расположена во II и I квадрантах, и поэтому она запишется двумя кадрами:

$$\text{1-й кадр} \begin{cases} X = x_1 - x_0 \\ Y = y_1 - y_0 \\ I = x_C - x_0 \\ J = y_C - y_0 \end{cases}$$

$$\text{2-й кадр} \begin{cases} X = x_2 - x_1 \\ Y = y_2 - y_1 \\ I = x_C - x_1 \\ J = y_C - y_1 \end{cases}$$

Участок параболической интерполяции задается одним из следующих наборов параметров (рис. 53, г):

конечной точкой и точкой пересечения касательных к параболе:

Абсолютные размеры

$$\begin{aligned} X &= x_2 \\ Y &= y_2 \\ I &= x_K \\ J &= y_K \end{aligned}$$

Размеры в приращениях

$$\begin{aligned} X &= x_2 - x_0 \\ Y &= y_2 - y_0 \\ I &= x_K - x_0 \\ J &= y_K - y_0 \end{aligned}$$

конечной и промежуточной точками:

Абсолютные размеры

$$\begin{aligned} \text{1-й кадр} \quad & \begin{cases} X = x_1 \\ Y = y_1 \end{cases} \\ \text{2-й кадр} \quad & \begin{cases} X = x_2 \\ Y = y_2 \end{cases} \end{aligned}$$

Размеры в приращениях

$$\begin{aligned} \text{1-й кадр} \quad & \begin{cases} X = x_1 - x_0 \\ Y = y_1 - y_0 \end{cases} \\ \text{2-й кадр} \quad & \begin{cases} X = x_2 - x_1 \\ Y = y_2 - y_1 \end{cases} \end{aligned}$$

Интерполяцию кривыми более высокого порядка предусмотрено программировать посредством некоторого числа следующих друг за другом кадров в соответствии с рассмотренными ранее методами. Коды для такой интерполяции выбираются из числа неуказанных подготовительных функций.

Функция подачи и скорость главного движения

Слово «Функция подачи» может определять как результирующую скорость подачи, так и составляющие этой скорости, разложенной по координатным осям. В кадре результирующая скорость подачи записывается под адресом F после всех слов «Размерные перемещения». Слово «Функция подачи», относящееся к определенной оси координат, записывается непосредственно за словом «Размерное перемещение» по этой координате. Для записи второй и третьей функций подачи используются соответственно адреса E и D. Размерность скорости подачи кодируется подготовительной функцией G94, если единицей ее измерения является мм/мин, или подготовительной функцией G95, если подача зависит от скорости главного движения и задается в мм/об.

Слово «Скорость главного движения» записывается с адресом S и определяет линейную скорость точки приложения инструмента в м/мин, кодируемую подготовительной функцией G96, или частоту вращения шпинделя или стола в об/мин, кодируемую функцией G97.

Для кодирования скоростей подачи и главного движения применяются методы прямого обозначения, геометрической и арифметической прогрессии и символический.

Метод прямого обозначения является рекомендуемым, как наиболее наглядный метод. Например, скорость подачи 20 мм/мин записывается четырехзначным десятичным числом 0020.

При кодировании методом геометрической прогрессии значения скоростей подачи и главного движения задаются двузначными кодовыми числами в соответствии с табл. 18.

Т а б л и ц а 18

Код	Число	Код	Число	Код	Число	Код	Число	Код	Число
00	0	20	10,0	40	100	60	1000	82	10 000
01	1,12	21	11,2	41	112	61	1120	81	11 200
02	1,25	22	12,5	42	125	62	1250	82	12 500
03	1,40	23	14,0	43	140	63	1400	83	14 000
04	1,60	24	16,0	44	160	64	1600	84	16 000
05	1,80	25	18,0	45	180	65	1800	85	18 000
06	2,00	26	20,0	46	200	66	2000	86	20 000
07	2,24	27	22,4	47	224	67	2240	87	22 400
08	2,50	28	25,0	48	250	68	2500	88	25 000
09	2,80	29	28,0	49	280	69	2800	89	28 000
10	3,15	30	31,5	50	315	70	3150	90	31 500
11	3,55	31	35,5	51	355	71	3550	91	35 500
12	4,00	32	40,0	52	400	72	4000	92	40 000
13	4,50	33	45,0	53	450	73	4500	93	45 000
14	5,00	34	50,0	54	500	74	5000	94	50 000
15	5,60	35	56,0	55	560	75	5600	95	56 000
16	6,30	36	63,0	56	630	76	6300	96	63 000
17	7,10	37	71,0	57	710	77	7100	97	71 000
18	8,00	38	80,0	58	800	78	8000	98	80 000
19	9,00	39	90,0	59	900	79	9000	99	Быстро

Кодирование методом арифметической прогрессии предусматривает представление значений скоростей подачи и главного движения трех-, четырех-, или пятизначными кодовыми числами. Первая цифра кодового числа представляет собой десятичный множитель, который на три больше числа цифр слева от запятой в кодируемом числе.

Т а б л и ц а 19

Кодируемое число	Кодовое число		
	трехзначное	четырёхзначное	пятизначное
1728	717	7173	71 728
150,3	615	6150	61 503
15,25	515	5153	51 525
7,826	478	4783	47 826
0,1537	315	3154	31 537
0,01268	213	2127	21 268
0,008759	188	1876	18 759
0,0004624	046	0462	04 624

Если кодируемое число меньше единицы, то первая цифра кодового числа получается вычитанием из числа три числа нулей, стоящих справа от запятой кодируемого числа. Последующие цифры кодового числа обозначают кодируемое число, округленное с точностью до двух, трех или четырех знаков. Примеры кодирования чисел способом арифметической прогрессии приведены в табл. 19.

Символический метод кодирования предусматривает обозначение скоростей подачи и главного движения одно- или двухразрядными кодовыми числами, заданными в инструкции по программированию для конкретного станка с ЧПУ.

Функция инструмента

Слово «Функция инструмента» используется для указания инструмента и корректора. В этом слове с адресом Т записывается кодовое число с одной или двумя группами цифр. В первом случае слово «Функция инструмента» задает только номер инструмента или его позицию, а корректор для этого инструмента определяется другим словом с адресом D. Во втором случае вторая группа цифр определяет номер корректора длины, положения или диаметра инструмента. Например, в слове T12I8: Т — адрес, 12 — номер инструмента, 18 — номер корректора. Если программируется номер инструмента без указания корректора, то вторая группа цифр содержит нули (T1200), а если программируется корректор для заданного в одном из предыдущих кадров инструмента, то нули содержит первая группа цифр (T0018).

Вспомогательные функции

Слово «Вспомогательная функция» определяет команду исполнительному органу станка или УЧПУ. Вспомогательные функции задаются словами с адресом М и двузначным десятичным кодовым числом (M00—M99). Назначение их указано в табл. 20.

Неуказанные коды не определены и могут использоваться по усмотрению разработчиков конкретных УЧПУ.

Большинство вспомогательных функций (отмечены звездочкой во второй колонке) выполняется до начала перемещений, запрограммированных в том же кадре, и действует до отмены или замены их командами аналогичного назначения. Функции М, выполняемые после заданных в кадре перемещений, обозначены буквой П в той же колонке. В одном кадре в порядке возрастания кодовых номеров может быть записано несколько команд различным исполнительным органам станка с ЧПУ.

Формат УП

Структуру кадра для конкретного станка с ЧПУ определяет формат УП. Формат УП — это условная запись кадра с максимальным объемом информации, определяющая набор применяемых слов, порядок их расположения и объем информации каждого слова.

Вспомогательная функция	Признак	Значение
M00	П	Программируемый останов. Останов шпинделя и выключение охлаждения. Работа по УП возобновляется после нажатия соответствующей кнопки на пульте управления
M01	П	Останов с подтверждением. То же, что и M00, но выполняется при предварительном нажатии соответствующей кнопки на пульте управления
M02	П	Конец УП. Останов шпинделя и выключение охлаждения. Приведение в исходное состояние управляющего устройства и возврат рабочих органов станка в исходное положение, а также протягивание перфоленты, склеенной в кольцо, или обратная ее перемотка
M03 и M04	*	Вращение шпинделя по часовой стрелке или против нее. Включение шпинделя соответственно в отрицательном и положительном направлении вращения
M05	П	Останов шпинделя. Останов наиболее эффективным способом, например торможением
M06		Смена инструмента. Команда на смену инструмента вручную или автоматически. Не осуществляется поиск инструмента. Может автоматически отключать шпиндель и охлаждение
M07 и M08	*	Включение охлаждения. Включает охлаждение соответственно № 2 и № 1
M09	П	Отключение охлаждения. Отменяет команды, заданные функциями M07, M08, M50 и M51
M10 и M11	*	Зажим и разжим. Относится к зажимным приспособлениям подвижных органов станка, например стола, патрона и т. п.
M13 и M14	*	Вращение шпинделя по часовой стрелке и против нее, а также включение охлаждения. То же, что и M03 и M04, но с включением охлаждения
M15 и M16		Перемещение «+» и «-». Используются для задания соответственно положительного и отрицательного направления перемещения, запрограммированного в данном кадре
M17	П	Конец подпрограммы для УЧПУ со встроенной памятью. Передача управления основной программе после выполнения всех прогонов подпрограммы
M19	П	Останов шпинделя в заданной позиции. Команда на останов шпинделя в определенном угловом положении
M20	П	Конец подпрограммы, в качестве которой используется многократно считываемая глава программы
M30	П	Конец ленты. То же, что и M02, но с возможностью обращения ко второму считывателю информации с перфоленты
M31		Обход блокировки. Команда на временную отмену блокировки. Действует только в том кадре, в котором записана
M36 и M37	*	Диапазон подачи. Задаёт диапазон подач соответственно № 1 и № 2 путем переключения кинематической связи
M38 и M39	*	Диапазон частот вращения шпинделя. Задаёт диапазон частот вращения соответственно шпинделя № 1 и № 2
M50 и M51	*	Включение охлаждения. Включение охлаждения соответственно № 3 и № 4
M55 и M56	*	Линейное смещение инструмента. Линейное смещение инструмента соответственно в положения № 1 и № 2
M61 и M62	*	Линейное смещение заготовки. Линейное смещение заготовки соответственно в положения № 1 и № 2
M71 и M72	*	Угловое смещение заготовки. Угловое смещение заготовки соответственно в положения № 1 и № 2

Формат УП записывается по следующим правилам. Слова изображаются символами их адресов в принятой для кадров последовательности. За адресом безразмерных слов записывается одна цифра, показывающая число цифр в слове, или, если можно опустить нули, стоящие перед первой значащей цифрой, то за адресом безразмерных слов записываются две цифры, первая из которых нуль. За адресом каждого слова «Размерное перемещение» записываются две цифры, первая из которых показывает число разрядов перед подразумеваемой десятичной запятой, отделяющей целую часть числа от дробной, а вторая — число разрядов после запятой или три цифры, первая или последняя из которых нуль, в зависимости от того, опускаются ли нули перед первой или последней значащей цифрой: если абсолютные размеры всегда положительные, то между адресом и следующим за ним числом не ставят никакого знака, а если они либо положительные, либо отрицательные, то между адресом и следующим за ним числом ставят знак «+». Символ «Табуляция» обозначается точкой (.). Символ «Конец кадра» — звездочкой (*).

Например, формат УП для сверлильного станка с ЧПУ, у которого шпиндельная головка перемещается по оси Z, а стол — по осям X и Y и позиционируется в кратные 45° угловые положения, запишется в виде

N03.G2.X + 042.Y + 042.Z + 042.B1.F2.S2.T4.M2*

Здесь N03 — адрес и трехзначный номер кадра, нули перед первой значащей цифрой могут быть опущены; G2 — адрес и двухразрядный кодовый номер подготовительной функции; X + 042 — адрес и величина перемещения по оси X со знаком «+» или «—», записываемая шестизначным числом — четыре цифры слева от подразумеваемой десятичной запятой и две справа, нули перед первой значащей цифрой могут быть опущены; Y+042 — то же, для перемещения по оси Y; Z+042 — то же, для перемещения по оси Z; B1 — адрес и одноразрядный кодовый номер углового положения стола; F2 — адрес и двухразрядный код подачи; S2 — адрес и двухразрядный код скорости главного движения; T4 — адрес и четырехразрядный код инструмента и корректор; M2 — адрес и двухразрядный кодовый номер вспомогательной функции; (.) — символ табуляции; (*) — символ конца кадра.

В примечаниях к формату УП конкретного станка с ЧПУ должны быть указаны: кратность использования слов «Подготовительная функция» и «Вспомогательная функция»; способы кодирования скоростей подач и главного движения; число цифр в слове «Номер программы» при записи на перфоленте нескольких УП; число разрядов в первой и второй группах цифр при задании коррекции в слове «Функция инструмента»; значения символов адресов D, E, P, Q, R, H и L, если они используются в данном УЧПУ.

Для полноты описания формата УП желательно дать также следующие сведения: перечень и назначение всех перерабатываемых подготовительных и вспомогательных функций; таблицы кодов скоростей подач и главного движения; таблицу кодовых номеров пози-

ций инструмента; перечень номеров корректоров с указанием их назначения и особенностей применения; пределы размерных перемещений по всем осям координат; перечень всех воспринимаемых и перерабатываемых символов кодового набора; перечень и кодовые номера всех подпрограмм, хранящихся в памяти УЧПУ.

4.2. КОДИРОВАНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ УП

Кодирование элементов УП ведется в соответствии с ее форматом и рядом других условий, связанных с технологическими возможностями конкретного станка и технической оснащенностью его УЧПУ. Эти сведения содержатся в инструкции по программированию для конкретного станка с ЧПУ. Некоторые элементы УП являются общими для большинства УЧПУ.

Кодирование участков траектории

В УП для универсальных УЧПУ размерным перемещениям должна предшествовать подготовительная функция G90, если задаются абсолютные размеры (рис. 54):

$N \{i\} \dots G90X \{x_1\} Y \{y_1\} Z \{z_1\} \dots$

или функция G91, если размеры задаются в приращениях:

$N \{i\} \dots G91X \{x_1 - x_0\} Y \{y_1 - y_0\} Z \{z_1 - z_0\} \dots$

В УП для УЧПУ, ориентированных только на один из способов задания размеров, подготовительные функции G90 и G91 не указываются.

В последующих примерах кодирования элементов УП записаны абсолютные размеры. В этих примерах размеры могут быть заданы и в приращениях с указанием подготовительной функции G91.

Для согласования системы координат детали, в которой заданы координаты опорных точек траектории инструмента, с системой координат станка наряду с устанавливаемым вручную с пульта управления сдвигом нуля отсчета перемещений рабочих органов станка применяется программируемый сдвиг нуля. В кадре программируемый сдвиг нуля кодируется подготовительной функцией G92, и этот кадр отрабатывается без перемещения рабочих органов станка. Например, перенос начала отсчета абсолютных размеров из точки T_0 в точку T_1 (рис. 55, а) записывается кадром

$N \{i\} \dots G92X \{x_0 - x_1\} Y \{y_0 - y_1\} Z \{z_0 - z_1\}.$

Программируемый сдвиг нуля используется и для учета в УП различных вылетов инструментов при их смене. Например, после по-

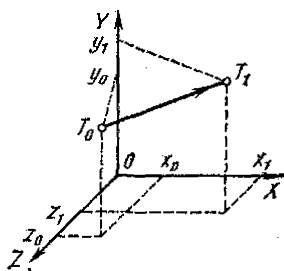


Рис. 54. Линейный участок траектории инструмента

ворота резцедержателя для замены сверла резцом (рис. 55, б) приращение координат вершины инструмента задается функцией G92:

$$N \{i\} \dots G92X \{x_0 - x_1\} Z \{z_0 - z_1\} \dots$$

Позиционирование вершины инструмента в заданную точку на быстром ходу кодируется подготовительной функцией G00. Напри-

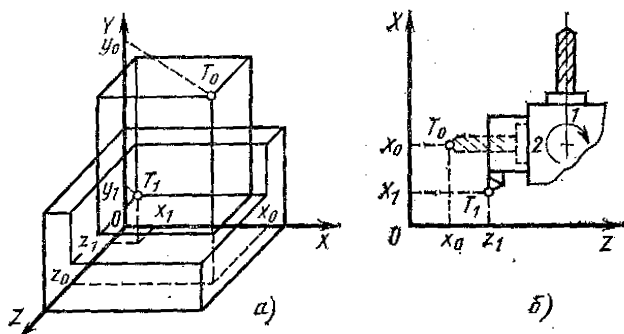


Рис. 55. Программируемый сдвиг нуля при переносе начала отсчета (а) и смене инструмента (б)

мер, при позиционировании инструмента в точку T_1 (рис. 56) запись в кадре имеет вид

$$N \{i\} G00 \dots G90X \{x_1\} Y \{y_1\} Z \{z_1\} \dots$$

Движение рабочих органов станка при отработке кадра с функцией G00 начинается одновременно по всем заданным осям, и поэтому скорости и направления движения вершины инструмента отно-

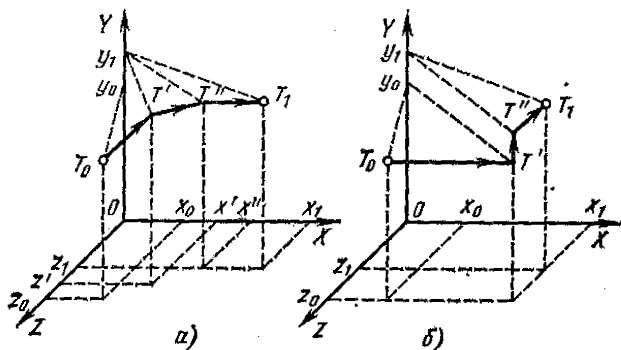


Рис. 56. Траектория инструмента при позиционировании

сительно детали зависят от приращений координат. Движение по одной координате производится с наибольшей возможной для данного привода подачи скоростью $v_{\max}$. Если движение производится одновременно по двум координатам, то результирующая скорость перемещения в $\sqrt{2}$ раз больше, чем $v_{\max}$, а если по трем координатам — в $\sqrt{3}$ раз. На рис. 56, а позиционирование вершины инстру-

мента из точки T_0 в точку T_1 проходит три фазы: 1) движение по трем координатам x , y и z до точки T' ; 2) по двум координатам x и y до точки T'' ; 3) по координате x до точки T_1 .

Если позиционирование необходимо провести раздельно по осям, то по каждой координате (рис. 56, б) оно задается отдельным кадром:

$N \{i\} \quad G00 \dots G90X \{x_1\}$
 $N \{i+1\} \quad Y \{y_1\}$
 $N \{i+2\} \quad Z \{z_1\}$

Перемещение инструмента по заданной траектории на рабочей подаче задается участками интерполяции. Функциональный харак-

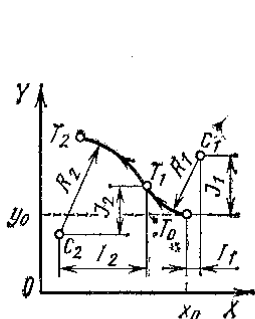


Рис. 57. Параметры круговой интерполяции

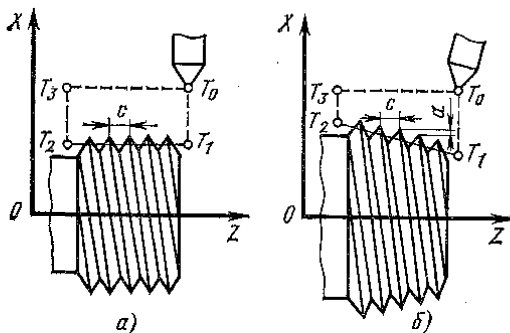


Рис. 58. Параметры проходов при обработке винтовых поверхностей

тер интерполируемого участка траектории (прямая, окружность, парабола или кривая более высокого порядка) определяется соответствующей подготовительной функцией. Скорость рабочей подачи задается словом «Функция подачи» с адресом F и действует на всех интерполируемых участках траектории до ее замены.

Участок линейной интерполяции (см. рис. 54) кодируется подготовительной функцией G01:

$N \{i\} \quad G01 \dots G90X \{x_1\} Y \{y_1\} Z \{z_1\} \dots$

Перемещение инструмента вдоль дуги окружности кодируется в зависимости от направления движения (отрицательного или положительного) подготовительными функциями G02 или G03. Например, участок круговой интерполяции, состоящий из двух дуг окружностей (рис. 57), записывается кадрами

$N \{i\} \quad G02G17G90X \{x_1\} Y \{y_1\} I \{x_{c_1} - x_0\} J \{y_{c_2} - y_0\} \dots$
 $N \{i+1\} G03 \quad X \{x_2\} Y \{y_2\} I \{x_{c_2} - x_1\} J \{y_{c_2} - y_1\} \dots$

В первом кадре или в одном из предыдущих кадров УП указывается плоскость интерполяции XY, XZ или YZ, определяемая соответственно подготовительными функциями G17, G18 и G19.

Проход нарезания винтовой поверхности с постоянным шагом кодируется подготовительной функцией G33. Шаги винтовой поверх-

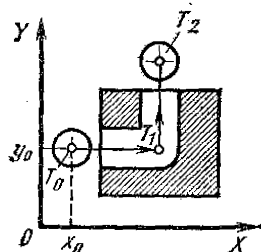
ности в направлении осей координат X и Z задают параметры I и K . Например, участок траектории инструмента $T_0-T_1-T_2-T_3-T_0$ (рис. 58, а), включающий проход нарезания цилиндрической резьбы T_1-T_2 , записывается кадрами

```
N {i}      G00G90    X {x1} ...
N {i + 1} G33              Z {z2} K {c} ...
N {i + 2} G00    X {x3} ...
N {i + 3}              Z {z0} ...
```

а при нарезании конической резьбы (рис. 58, б)

```
N {i}      G00G90X {x1}
N {i + 1} G33              Z {z2} I {a} K {c}
N {i + 2}      X {x3}
N {i + 3}      Z {z0}
```

Для уменьшения динамической ошибки траектории при изменении направления движения инструмента подготовительной функцией G09 кодируется торможение в конце отработки кадра. Например, участок траектории T_0-T_2 (рис. 59), на котором при подходе к точке T_1 необходимо снизить скорость подачи, записывается кадрами



```
N {i}      G01G09G90X {x1} F ...
N {i + 1}      Y {y2} ...
```

Рис. 59. Участок движения инструмента с торможением

Выдержка времени при отработке операций с известной продолжительностью кодируется подготовительной функцией G04. Продолжительность (мкс) паузы записывается в кадре словом с адресом X . Например, выстой инструмента в I с при цековании отверстия записывается кадром

```
N {i} G04 ... X1000 ...
```

В некоторых УЧПУ принята форма записи выдержки времени заданием продолжительности отработки фиктивного перемещения по координате X с заданной рабочей подачей. Например, та же пауза в I с записывается подготовительной функцией G04 и перемещением 3 мм со скоростью подачи 180 мм/мин:

```
N {i} G04 ... X3000F180 ...
```

Коррекция инструмента

Компенсация износа и погрешности установки инструмента и учет его параметров при безэквидистантном программировании траектории инструмента, определенной координатами опорных точек

контура детали, кодируется подготовительными функциями G41—G52. Функция G40 отменяет введенную коррекцию.

Коррекция радиуса инструмента при обработке криволинейного контура кодируется функциями G41 или G42 в зависимости от расположения инструмента (слева или справа от контура, если смотреть в направлении его движения). Например, траектория $T_0—T_1—T_2—T_3—T_4—T_5—T_6—T_0$ (рис. 60, а), рассчитанная для обработки контура фрезой радиусом R_1 , корректируется с помощью функ-

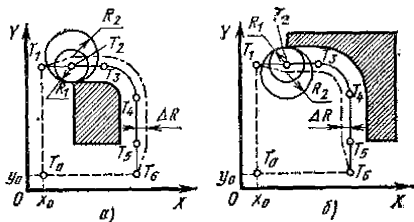


Рис. 60. Коррекция радиуса инструмента

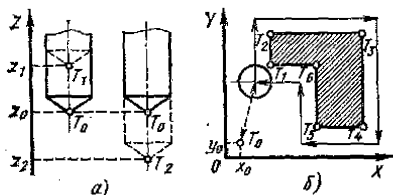


Рис. 61. Коррекция длины и положения инструмента

ции G41 и корректора № 1, в который с пульта управления заносится изменение радиуса ΔR :

```

N {i}      G00G17G90X {x1} Y {y1} ...
N {i + 1}  G01G41   X {x2} ...      T0001
N {i + 2}                X {x3} ...
N {i + 3}  G02      X {x4} Y {y4} I 0 J {y4 — y3} ...
N {i + 4}  G01      Y {y5} ...
N {i + 5}  G40      Y {y6} ...
N {i + 6}  G00      X {x0} Y {y0}
  
```

Та же траектория при расположении инструмента справа от контура (рис. 60, б) корректируется функцией G42, а УП отличается от предыдущей кадром

```

N {i + 1}  G01G42X {x2} ... T0001.
  
```

Подготовительные функции G43 и G44 предназначены для осепараллельной коррекции длины инструмента или положения его вершины в плоскости обработки при прямоугольном формообразовании. Функции G43 или G44 выбирают соответственно для прибавления или вычитания из заданной в кадре координаты величины, занесенной в корректор с пульта управления. Например, для коррекции длины инструмента (рис. 61, а) в корректор заносится абсолютная величина разности между расчетной и действительной аппликатами вершины инструмента $|z_0—z_1|$ или $|z_0—z_2|$ и в УП записывается один из кадров

```

N {i} ... G44Z {z0} ... T0201
  
```

или

N {i} ... G43Z {z₀} ... T0201

в зависимости от того, короче или длиннее запрограммированного установленного на станке инструмент.

При прямоугольном формообразовании траектория инструмента, определенная в УП координатами опорных точек контура детали, корректируется на величину радиуса [инструмента] подготовительными функциями G45—G52. Например УП обработки контура, приведенного на рис. 61, б, записывается кадрами

N {i} G00G47X {x₁} Y {y₁} ... T0101

N {i + 1} G01G48X {x₂} Y {y₂} ...

N {i + 2} G45X {x₃} Y {y₃} ...

N {i + 3} G46X {x₄} Y {y₄} ...

N {i + 4} G47X {x₅} Y {y₅} ...

N {i + 5} X {x₆} Y {y₆} ...

N {i + 6} X {x₁} Y {y₁} ...

N {i + 7} G00G40X {x₀} Y {y₀} ...

Кодирование подпрограмм

Подпрограммой называется вызываемая к действию основной УП система команд, управляющая определенной законченной последовательностью действий рабочих органов станка (РТМ2 Н00-6—79). Обращение к подпрограмме может осуществляться и вручную с с пульта управления УЧПУ.

Кодирование подпрограмм осуществляется в основном аналогично кодированию основных УП за исключением некоторых особенностей.

В подпрограммах вместо конкретных чисел поадресной части слов (фактических параметров) обычно записываются формальные параметры под адресами R0—R9. Формальные параметры могут следовать за любыми адресами, кроме N, G и M. Вместе с формальным параметром под адресом слова может быть записан фактический параметр, что воспринимается как их алгебраическая сумма. Например, запись «X—1200+R6», где под адресом R6 в основной программе задана величина «—800», будет обрабатываться как «X—2000».

Номера кадров подпрограмм задаются под теми же адресами, что и кадры основных УП, трех- или пятизначными числами. Первые две цифры пятизначного числа обозначают номер подпрограммы.

Вызов подпрограммы задается словом с адресом L и четырехзначным десятичным числом. Первые два разряда этого числа определяют номер подпрограммы, а последующие два — число ее прогнозов.

Обращение к подпрограмме записывается в кадре основной УП словом с адресом L и значениями формальных параметров:

$N \{i\} \dots L \dots R0 \dots R1 \dots$

В кадре основной УП вместе с обращением к подпрограмме может содержаться и другая управляющая информация, которая обрабатывается до вызова и выполнения подпрограммы.

В качестве примеров ниже приведены подпрограммы обработки плоскости, расфрезеровки отверстия и многопроходной обточки.

1. Подпрограмма L01 для обработки плоскости (рис. 62, а).

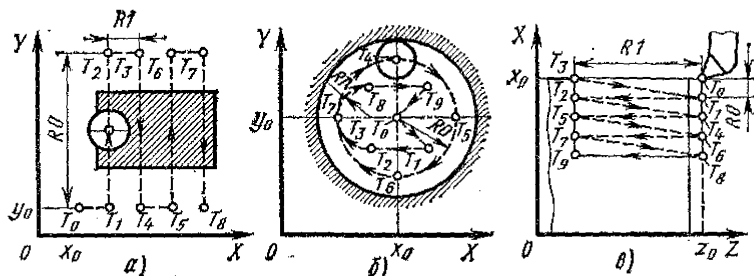


Рис. 62. Параметры подпрограмм для обработки плоскости, расфрезеровки отверстия и чернового обтачивания

Обращение к подпрограмме:

$N \{i\} \dots L0102R0 \dots R1 \dots R2 \dots$

Подпрограмма L01:

Участок траектории

N01001G00G91XR1	T_0-T_1
N01002G01	YR0FR2 T_1-T_2
N01003G00	XR1 T_2-T_3
N01004G01	Y-R0M17T3-T4

Второй прогон этой подпрограммы приведет к обработке участка траектории T_4-T_8 .

2. Подпрограмма L02 для расфрезеровки отверстия (рис. 62, б).

Обращение к подпрограмме:

$N \{i\} \dots L0201R0 \dots R1 \dots R2 \dots R3 \dots$

Подпрограмма L02:

Участок траектории:

N02001G00G91XR1	YR1FR2SR3	T_0-T_1
N02002	X-R0	T_1-T_2
N02003G02	X-R1YR110J-R1	T_2-T_3
N02004	XR0 YR0IR0J0	T_3-T_4
N02005	XR0 Y-R010J-R0T4-T5	T_4-T_5
N02006	X-R0Y-R0IR0J0	T_5-T_6
N02007	X-R0YR010JR0	T_6-T_7
N02008	XR1 YR1IR1J0	T_7-T_8
N02009G00	XR0	T_8-T_9
N02010	X-R1Y-R1MI7	T_9-T_0

3. Подпрограмма L03 для многопроходного обтачивания (рис. 62, а).

Обращение к подпрограмме:

$N \{i\} L0304R0 \dots R1 \dots R2 \dots$

Подпрограмма L03:

Участок траектории

N03001G00G91X—R0FR2 $T_0—T_1$

N03002G01 $Z—R1$ $T_1—T_2$

N03003 XR0 $T_2—T_3$

N03004G00 X—R0ZR1M17T₃—T₁

Четырехкратный прогон этой подпрограммы приведет к выполнению четырех проходов обтачивания по траектории $T_0—T_1—T_2—T_3—T_1—T_4—T_5—T_2—T_1—T_6—T_7—T_5—T_6—T_8—T_9—T_7—T_8$.

Аналогичные подпрограммы разрабатываются для расфрезеровки прямоугольных выемок, глубокого сверления, нарезания винтовых поверхностей, протачивания канавок и других технологических переходов.

4.3. ЗАПИСЬ УП НА ПРОГРАММОНОСИТЕЛЬ

В качестве носителя управляющей информации могут применяться перфолента, магнитная лента, магнитные диски и запоминающие устройства различного типа. Несмотря на недостатки, перфолента пока является основным программноносителем для станков с ЧПУ. Для записи УП на перфоленту установлены структура программноносителя и код.

Программноносители и коды

На ранних этапах технического развития числового программного управления УП записывались на различные программноносители — перфокарты, киноленты, магнитные ленты и перфоленты. Преимущественное распространение получили, как наиболее практичные для промышленного применения, пяти- и восьмидорожковые перфоленты. Для станков, управляемых от магнитных лент, первичным программноносителем также служила перфолента.

В настоящее время у нас и за рубежом в качестве основного программноносителя для станков с ЧПУ принята восьмидорожковая перфолента шириной 25,4 мм (1 дюйм), изготовленная из бумаги или других материалов. При подготовке управляющих перфолент с помощью высокоскоростных перфорирующих устройств ЭВМ используется тонкая, слегка промасленная бумажная лента, которая легко перфорируется, но в то же время достаточно прочна для проведения испытаний и обработки на станке небольших партий деталей. Для изготовления многократно используемых программноносителей применяется более прочная, обезжиренная, полностью непрозрачная лента из бумаги или пластмассы, получаемая копированием исходной ленты на реперфорирующих устройствах. Технические характеристики перфолент регламентирует ГОСТ 1391—70, а форму, размеры

и расположение транспортных и кодовых отверстий
ГОСТ 10860—68.

На рис. 63 показаны элементы перфоленты: строка 1, шаг перфорации 2, кодовые отверстия 3, базовая кромка 4, транспортные отверстия 5 и транспортная (ведущая) дорожка 6.

Транспортные отверстия предназначены для продвижения ленты и синхронизации считывания записанной на ней информации, кодовые отверстия — для образования кодовых комбинаций управляющей информации. Они пробиваются в определенных позициях перфоленты, находящихся на пересечениях строк и кодовых дорожек. Каждая позиция перфоленты несет 1 бит информации: пробивка кодового отверстия означает единицу в двоичном исчислении, а отсутствие

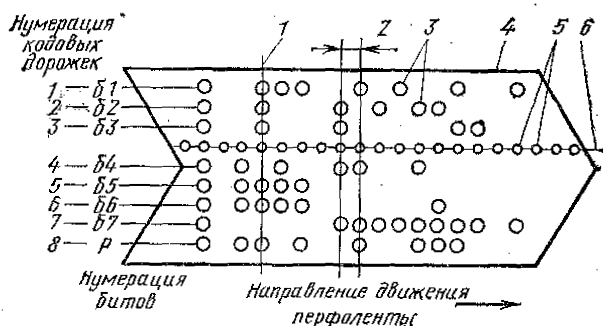


Рис. 63. Элементы перфоленты

пробивки — нуль. Нумерация кодовых дорожек ведется от базовой кромки, в качестве которой принимается левый край перфоленты, если смотреть сверху в направлении ее движения при перфорации или считывании информации. Транспортная дорожка расположена ближе к базовому краю перфоленты между третьей и четвертой дорожками. Расстояния между строками (шаг перфорации), а также между соседними дорожками равны 2,54 мм.

Для представления информации на перфоленте применяют двоичный семиэлементный код по ГОСТ 13052—74, подмножество которого для ЧПУ соответствует международному коду ИСО (табл. 21).

Символы этого кода — знаки, цифры и буквы латинского алфавита — представляются комбинациями кодовых отверстий, записываемых отдельными строками. В строке первые семь позиций являются информационными и обозначаются как разряды двоичного кода б1—б7, восьмая позиция (паритет (Р) по четности) — для пробивки дополнительного отверстия, обеспечивающего четность числа отверстий в строке, что позволяет контролировать правильность перфорации и считывания информации УЧПУ.

Оборудование с ЧПУ, выпущенное в СССР ранее принятия кода ИСО, предусматривало для записи УП код БЦК-5 на пятидорожковой перфоленте. За рубежом наряду с кодом ИСО ограниченное при-

Кодовая комбинация									Символ	Название символа
Р	б7	б6	б5	б4	с *	б3	б2	б1		
0	0	0	0	0	●	0	0	0	Пусто	Пропуск строки перфоленты
1	0	0	0	1	●	0	0	0	ВШ	Возврат на шаг
0	0	0	0	1	●	0	0	1	ГТ	Горизонтальная табуляция
0	0	0	0	1	●	0	1	0	ПС	Перевод строки. Конец кадра
1	0	0	0	1	●	1	0	1	ВК	Возврат каретки
1	0	0	1	1	●	0	0	1	КН	Конец носителя
1	0	1	0	0	●	0	0	0	Пробел	Сдвиг каретки на шаг
1	0	1	0	0	●	1	0	1	%	Процент. Начало программы
0	0	1	0	1	●	0	0	0	(	Круглая скобка левая
1	0	1	0	1	●	0	0	1	)	Круглая скобка правая
0	0	1	0	1	●	0	1	1	+	Плюс
0	0	1	0	1	●	1	0	1	-	Минус
1	0	1	0	1	●	1	1	1	/	Черта дроби. Пропуск кадра
0	0	1	1	0	●	0	0	0	0	Цифры
1	0	1	1	0	●	0	0	1	1	
1	0	1	1	0	●	0	1	0	2	
0	0	1	1	0	●	0	1	1	3	
1	0	1	1	0	●	1	0	0	4	
0	0	1	1	0	●	1	0	1	5	
0	0	1	1	0	●	1	1	0	6	
1	0	1	1	0	●	1	1	1	7	
1	0	1	1	1	●	0	0	0	8	
0	0	1	1	1	●	0	0	1	9	Двоеточие. Главный кадр
0	0	1	1	1	●	0	1	0	:	
0	1	0	0	0	●	0	0	1	A	
0	1	0	0	0	●	0	1	0	B	
1	1	0	0	0	●	0	1	1	C	
0	1	0	0	0	●	1	0	0	D	
1	1	0	0	0	●	1	0	1	E	
1	1	0	0	0	●	1	1	0	F	
0	1	0	0	0	●	1	1	1	G	
0	1	0	0	1	●	0	0	0	H	Буквы. Символы адресов
1	1	0	0	1	●	0	0	1	I	
1	1	0	0	1	●	0	1	0	J	
0	1	0	0	1	●	0	1	1	K	
1	1	0	0	1	●	1	0	0	L	
0	1	0	0	1	●	1	1	0	M	
0	1	0	0	1	●	1	1	1	N	
1	1	0	0	0	●	0	0	0	O	
0	1	1	0	0	●	0	0	1	P	
1	1	1	0	0	●	0	1	0	Q	
0	1	1	0	0	●	0	1	1	R	
1	1	1	0	0	●	0	1	1	S	
1	1	1	0	0	●	1	0	0	T	
0	1	1	0	0	●	1	0	1	U	
0	1	1	0	0	●	1	1	0	V	
1	1	1	0	0	●	1	1	1	W	

Кодовая комбинация									Символ	Название символа
Р	67	66	65	64	а *	63	62	61		
1	1	1	0	1	●	0	0	0	X	Забой
0	1	1	0	1	●	0	0	1	Y	
0	1	1	0	1	●	0	1	0	Z	
1	1	1	1	1	●	1	1	1	ЗБ	

* Синхронизирующая дорожка.

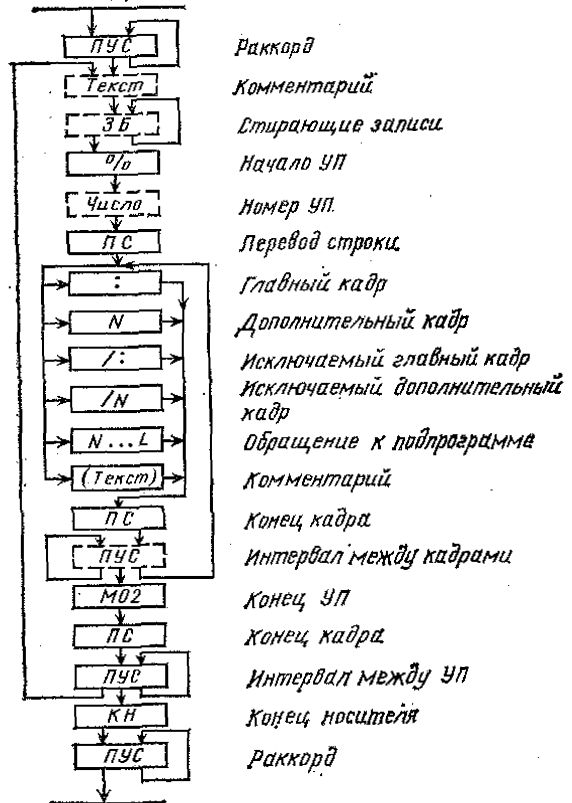
менение имеет код ЕІА. Некоторые зарубежные УЧПУ предусматривают отработку УП как в коде ИСО, так и в коде ЕІА, настройка на один из которых производится переключением тумблера на пульте управления.

Структура программоносителя

Программоноситель может содержать одну или несколько УП. Структура программоносителя приведена на рис. 64. Пунктиром на структурной схеме изображены участки, которых может не быть на перфоленте.

В начале и конце перфоленты, а также между управляющими программами оставляются раккорды с символами ПУС для ее заправки в считывающее устройство. Перед началом управляющей информации можно записывать комментарий, текст которого содержит номер чертежа и наименование детали, модель станка с ЧПУ, фамилию технолога-программиста, дату и т. п. Комментарий с указанием установка и другой вспомогательной информацией может быть помещен и между УП. Для удобства последующей распечатки текста

Начало перфоленты



Конец перфоленты

Рис. 64. Структура программоносителя

комментария после каждых шестидесяти символов, включая пробелы, перфорируются символы ПС. Начало управляющей информации обозначается на перфоленте сочетанием символов % и ПС, между которыми может быть помещен номер УП. Символ ПС означает конец участка управляющей информации (кадра) и одновременно служит командой на перевод строки при распечатке текста программноносителя.

Символы ВШ, ТТ, ГК, КН и «Пробел» предназначены только для управления электрифицированной пишущей машиной (ЭПМ) и не воспринимаются УЧПУ. Особо следует отметить возможность горизонтальной табуляции, которая позволяет вести распечатку управляющей информации по столбцам, что облегчает контроль УП. Символ КН служит для останова ЭПМ при распечатке перфоленты и обычно помещается в пределах последнего ракурда.

Символы (и) используются для записи информации оператору станка и могут быть помещены в любое место перфоленты. Эти символы соответствуют функциям «Управление выключено» и «Управление включено», и поэтому записанная между ними информация не воспринимается УЧПУ. Внутри скобок не допускается запись символов % и !, которые при перемотке перфоленты могут привести к ложному останову.

Символ / означает пропуск кадра. Кадры, помеченные этим символом, будут отрабатываться или не отрабатываться в зависимости от положения переключателя на пульте управления. Это позволяет вводить в состав УП кадры, обработка которых необязательна при каждом ее прогоне. Например, такие кадры могут предназначаться для наладки станка, остановов для измерений в процессе обработки и программирования предварительных проходов для заготовок с большим разбросом размеров, пропускаемых в случае обработки заготовки меньшего размера.

Запись, контроль и редактирование УП

На этапах записи, контроля и редактирования УП при неавтоматизированной ее подготовке применяют специальные устройства [22].

Для записи УП на перфоленту в коде ИСО применяются УПДЛ, в состав которых входят электрифицированная пишущая машинка (ЭПМ), перфоратор, считывающее устройство и электронный блок управления. Наибольшее распространение получили УПДЛ «Брест-1Т». Основными режимами работы этого устройства являются: «Подготовка данных» — перфорирование текста УП, набираемого на клавиатуре ЭПМ; «Распечатка» — печатание текста УП, считываемого с перфоленты; «Реперфорация» — изготовление дубликата перфоленты; «Сравнение» — проверка идентичности перфорации двух перфолент; «Сравнение с клавиатурой» — контроль текста УП на перфоленте путем сравнения его с текстом, набираемым на клавиатуре ЭПМ; «Сравнение и печать» — сравнение перфорации двух перфолент с перфорированием третьей перфоленты и распечатка текста УП. На всех режимах работы УПДЛ «Брест-1Т» предусмотрены контроль и исправление обнаруженных ошибок.

Ошибки в УП возникают как при задании исходных данных, так и в процессе ее расчета и записи. Различают ошибки геометрические, технологические и ошибки перфорации.

Геометрические ошибки появляются при задании размеров детали и заготовки, координат настроечных точек инструментов и начальных положений рабочих органов станка, а также при расчете траектории инструмента. Для выявления геометрических ошибок применяют различные графические устройства: электромеханические — графопостроители и электронно-лучевые — дисплеи.

Технологические ошибки связаны с неправильным выбором режущего инструмента, крепежных приспособлений, последовательности обработки и параметров режимов резания. Эти ошибки в наиболее полном объеме выявляются в процессе пробной обработки заготовки на станке.

Ошибки перфорации являются следствием неточных действий оператора УПДЛ или сбоев в работе этого устройства. Большинство таких ошибок обнаруживается путем прогона управляющей перфоленты в режиме ее ускоренного контроля в УЧПУ программируемого станка.

Для контроля, исправления ошибок и повышения эффективности УП находят применение различные устройства редактирования УП. Наиболее широкие возможности и удобства имеют устройства, оснащенные текстовыми и графическими дисплеями [20].

Многие современные УЧПУ типа CNC позволяют оперативно редактировать УП с пульта управления, на котором расположены переключатели и клавиши для набора кадров УП. Текст УП, высвеченный на дисплее, корректируется путем замены, вставки и удаления его отдельных символов, и после пробной обработки заготовки на станке по измененной УП отредактированный текст может быть выведен на перфоленту или иной программноноситель.

Оснащение УЧПУ техническими средствами визуализации кадров УП, графического изображения траектории инструмента, считывания управляющей информации с магнитной ленты на компакт-кассете, диагностирования ошибок и редактирования УП в значительной мере сокращает затраты на изготовление программноносителей и повышает эффективность работы станков с ЧПУ.

Методы контроля и редактирования УП при автоматизированной их подготовке на ЭВМ определяются принципами функционирования систем автоматизации программирования и возможностями применяемых средств ВТ.

глава 5 СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОГРАММИРОВАНИЯ

Подготовка УП является процессом переработки информации, эффективным средством автоматизации которого служит ЭВМ. Применение ЭВМ значительно сокращает продолжительность этого процесса, снижает его трудоемкость и повышает качество УП.

Применение ЭВМ для автоматизации программирования обработки на станках с ЧПУ требует разработки специального программно-математического обеспечения, реализующего комплекс алгоритмов для решения геометрических и технологических задач подготовки УП и проблемно-ориентированный язык для записи и ввода в ЭВМ исходной информации. Это ПМО принято называть системой автоматизации программирования (САП) для станков с ЧПУ.

5.1. ПРИНЦИПЫ АВТОМАТИЗАЦИИ ПОДГОТОВКИ УП

Работы по применению ЭВМ для решения задач подготовки УП были начаты практически одновременно с созданием первых станков с ЧПУ. Вначале разрабатывались алгоритмы и вычислительные программы для решения на ЭВМ некоторых частных задач определения координат опорных точек контура и траектории инструмента, аппроксимации дуг окружностей отрезками прямых, определения приращений, их пересчета с учетом дискретности задания перемещений и кодирования. Дальнейшее совершенствование автоматизированных методов решения этих задач привело к разработке библиотеки стандартных вычислительных программ для решения типовых задач подготовки УП и созданию языка для задания исходной информации и последовательности решения указанных задач, т. е. к созданию САП. Развитие САП ведется в направлении расширения круга решаемых задач и оптимизации их решения, унификации ПМО, стандартизации входного и промежуточного языков, а также разработки компактных редакций САП для малых ЭВМ.

Характеристики САП

Многочисленные САП, распространенные у нас и за рубежом, различны по назначению, области применения, уровню автоматизации, форме записи исходной информации, параметрам используемых ЭВМ и режимам их работы при подготовке УП.

По назначению САП можно разделить на специализированные, универсальные и комплексные. Специализированные САП разрабатывают для отдельных классов деталей, уникальных станков или авто-

материированных участков. Универсальные САП предназначены для различных деталей, изготовляемых на станках с ЧПУ отдельных технологических групп. Комплексные САП объединяют ряд специализированных и универсальных САП для различных технологических групп станков с ЧПУ на базе единого входного языка и общих блоков САП для решения идентичных задач.

Область применения САП определяется конструктивно-технологическими признаками деталей и технологической группой станков. Различают следующие типы САП, областями применения которых являются: обработка плоскостей, параллельных координатным плоскостям, на фрезерных станках с $2\frac{1}{2}$ -координатным управлением, а также обработка на электроэрозионных станках и газорезательных машинах; обработка контуров и поверхностей на многокоординатных фрезерных станках; обработка тел вращения со ступенчатым и криволинейным профилями на токарных станках; обработка отверстий на сверлильных станках с позиционным управлением; комплексная обработка корпусных деталей на сверлильно-расточных станках и обрабатывающих центрах.

Уровень автоматизации САП характеризуется решаемыми на ЭВМ задачами подготовки УП согласно табл. 1. Условно различают три уровня — низкий, средний и высокий. САП низкого уровня решают на ЭВМ в основном геометрические задачи определения координат опорных точек траектории инструмента по заданным в исходной информации построительным геометрическим определениям ее участков и реализуют подробные указания о составе УП. САП среднего уровня позволяют решать на ЭВМ технологические задачи выбора последовательности проходов по заданным обобщенным технологическим схемам обработки отдельных участков заготовки. В САП высокого уровня предусматривается проектирование на ЭВМ инструментальной наладки и последовательности переходов по описанию детали и условий ее изготовления.

Формы записи исходной информации весьма разнообразны. В основном это табличная, свободная словарная и упорядоченная словарная записи. Каждая из них имеет свои преимущества и недостатки, при оценке которых необходимо учитывать трудоемкость подготовки исходной информации, назначение и область применения САП, а также сложность разработки транслятора — блока вычислительных программ для преобразования записанной на входном языке САП исходной информации в канонический вид, удобный для переработки информации в ЭВМ.

Табличная запись данных весьма лаконична и при использовании специальных бланков довольно наглядна. Эта форма записи принята в основном в специализированных САП, узкая ориентация которых позволяет использовать при задании исходной информации характерные особенности конфигурации деталей конкретных классов.

Словарная запись данных свободным текстом служит для задания групп параметров обработки и указаний ЭВМ в виде произвольной последовательности фраз, структура которых подчиняется синтаксису принятого проблемно-ориентированного входного языка. Эта

форма записи исходной информации позволяет оперировать широким набором понятий, используемых в универсальных САП. Недостатками записи свободным текстом являются большое число правил, которые необходимо усвоить технологу-программисту для записи различных по структуре фраз, громоздкость записи и сложность транслятора для переработки текста исходной информации. Для уменьшения объема записи применяются аббревиатуры и сокращенные обозначения, которые часто превращают текст исходной информации в трудно воспринимаемую зрительно последовательность букв, знаков и чисел, что усложняет его контроль.

Сокращение объема записи в ряде случаев гораздо эффективнее достигается применением специальных бланков, графы которых отображают структуру фраз данного входного языка. Применение таких бланков позволяет исключить в тексте названия наиболее часто используемых параметров и упорядочить запись. Упорядоченная словарная запись короче и нагляднее свободного текста и уменьшает вероятность пропуска необходимых данных в процессе подготовки исходной информации.

Параметры ЭВМ — быстродействие, объем оперативной памяти и состав внешних устройств — существенно влияют на технико-экономические показатели разработки и промышленного применения САП. Разработка САП велась применительно ко всем поколениям ЭВМ, различающихся как указанными параметрами, так и элементной базой.

К ЭВМ первого поколения относятся, например, «Минск-1», М-3 с электронными схемами на электровакуумных приборах, с минимальным набором устройств ввода-вывода информации. Невысокое быстродействие (порядка 5 тыс. операций в секунду), небольшой объем оперативной памяти (4—16К слов), низкая надежность и необходимость программирования в машинных кодах ограничивали разработку и широкое промышленное применение первых САП.

ЭВМ второго поколения, среди которых наибольшее распространение получили «Минск-2» и последующие ее модификации «Минск-22» и «Минск-32», построены на более надежных полупроводниковых элементах. Повышение быстродействия ЭВМ до 20 тыс. операций в секунду и объема оперативной памяти до 16—64К слов, а также наличие в составе ПМО языков программирования высокого уровня типа Фортран позволили создать более эффективные универсальные САП.

К ЭВМ третьего поколения относится единая серия ЕС ЭВМ различной конфигурации с быстродействием от 10 тыс. до 1,5 млн. операций в секунду, объемом оперативной памяти 64К—2М слов. Элементной базой этих ЭВМ служат интегральные схемы. Разнообразные внешние устройства, включая терминалы для дистанционной связи с ЭВМ, имеют стандартные средства сопряжения. В состав ПМО входят операционные системы для автоматического распределения ресурсов между многими потребителями. Широкие технические возможности и развитое ПМО современных вычислительных комплексов обеспечили дальнейшее совершенствование САП.

Автоматизированную подготовку УП можно проводить в различных режимах в зависимости от организации работы ЭВМ, состава внешних устройств и возможностей конкретной САП.

Организация работы ЭВМ с помощью операционной системы сводится к двум основным режимам — групповому и диалоговому. Групповой режим предусматривает последовательное выполнение на

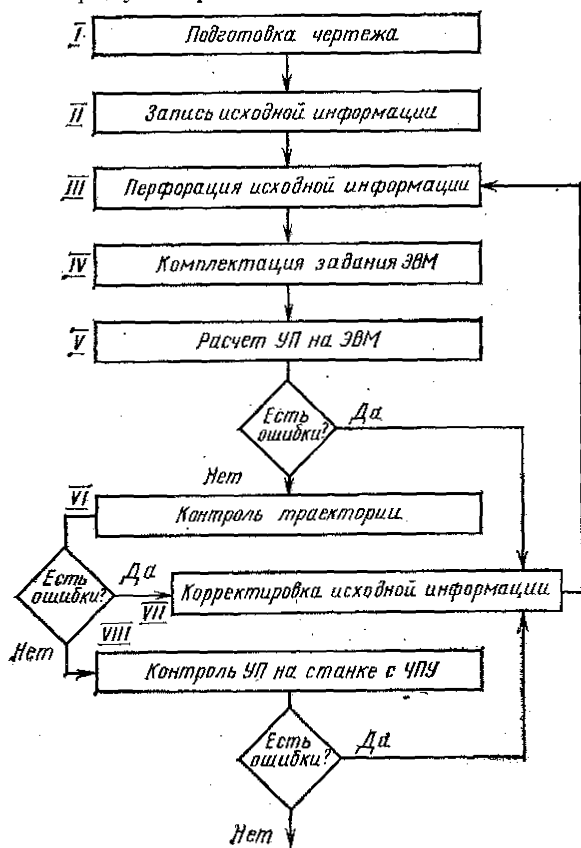


Рис. 65. Этапы подготовки УП на ЭВМ в групповом режиме

ЭВМ группы заданий по мере того, как высвобождаются ее ресурсы. Диалоговый режим обеспечивает непрерывную эффективную связь с ЭВМ одного или нескольких пользователей, каждый запрос которых немедленно вызывает ее ответное действие.

Этапы процесса подготовки УП на ЭВМ в групповом режиме показаны на рис. 65. На первых трех этапах этого процесса уточняются условия обработки, на чертеже детали обозначаются геометрические элементы (I), исходная информация записывается в бланки на входном языке САП (II) и переносится на перфоленту или перфокарты с последующим контролем соответствия перфорации записанному в бланках тексту (III). Из исходной информации, подготовленной для

программирования изготовления нескольких деталей, комплектуется заданием ЭВМ (IV). В процессе расчета УП на ЭВМ (V) работает диагностическая программа САП, которая при обнаружении ошибок печатает сообщение о характере и месте нахождения их к тексту исходной информации. Если ошибок нет, то расчет текущей УП проходит до конца и выдается УП на перфоленте с сопроводительной документацией. После этого, как и после распечатки ошибок, начинается расчет следующей УП по исходной информации из комплекта задания ЭВМ. При наличии подключенного к ЭВМ графопостроителя в состав сопроводительной документации входит график траектории вершины инструмента в системе координат детали. Этот график более удобен для контроля траектории (VI), чем график, воспроизводящий на автономном графопостроителе закодированные в УП движения рабочих органов станка. Для исправления ошибок, обнаруженных на этапах расчета УП и контроля траектории, технолог-программист корректирует исходную информацию (VII), добавляя к ней указания об изменении (вставке, удалении или замене) участков текста с ошибками, и организует повторный расчет УП на ЭВМ. Последующий контроль УП на станке (VIII) также может привести к необходимости корректировки исходной информации и повторному расчету УП на ЭВМ, если редактирование УП на станке с ЧПУ невозможно или менее эффективно, чем с помощью САП.

Подготовка УП на ЭВМ в диалоговом режиме наиболее удобна с применением дисплеев — устройств ввода-вывода текстовой и графической информации на электронно-лучевых трубках. При этом отсутствует четкое разграничение между рассмотренными этапами процесса подготовки УП и отпадает необходимость записи исходной информации в бланки и ее перфорации. Для того чтобы запрограммировать изготовление детали, технолог-программист, пользуясь функциональной клавиатурой графического дисплея и его световым пером, строит на экране контур детали, оперативно исправляя все допущенные ошибки. Далее, задавая технологические инструкции, он получает на экране график рассчитанной на ЭВМ траектории инструмента, что дает возможность визуально проконтролировать расчет и при необходимости внести в ранее заданные инструкции соответствующие коррективы. Возможны и другие варианты диалогового режима подготовки УП, когда, например, технолог-программист по запросам ЭВМ набирает на клавиатуре дисплея или ЭПМ текст исходной информации на языке САП и параллельно со вводом информации визуально контролирует высвеченные на экране или вычерченные графопостроителем контур детали и траекторию инструмента, оперативно исправляя ошибочные участки текста.

Наряду с большими универсальными ЭВМ, на которых ведется промышленная эксплуатация САП в КЦПП и ВЦ предприятий, получают распространение малые ЭВМ с упрощенными редакциями САП для подготовки и редактирования УП в БПУ предприятий или непосредственно на участках станков с ЧПУ. В состав внешних устройств малых ЭВМ, предназначенных для автоматизированной подготовки УП, входят в различной комплектации накопители на магнит-

ной ленте или дисках, ЭПМ, устройство считывания с перфоленты и перфоратор, графопостроитель, буквенно-цифровой и графический дисплей.

Оснащение станка индивидуальной ЭВМ позволяет возложить на нее функции УЧПУ, диагностику работы станка, редактирование УП и программирование стандартных циклов. Вследствие быстрого развития микроэлектроники, приводящего к снижению стоимости и увеличению ресурсов малых ЭВМ, перспективна разработка специализированных САП на базе встроенных в станок ЭВМ. Такие САП смогут учитывать в наибольшем объеме как технологические возможности, так и особенности применения каждого станка, используя введенные в память ЭВМ параметры инструментов и крепежных приспособлений, библиотеки типовых схем обработки и «постоянные» станка, необходимые для расчета оптимальных траекторий инструментов и режимов резания. Совершенствование методов автоматического программирования непосредственно на станке изменит и содержание УП: вместо последовательности команд рабочим органам станка программой будет служить набор обобщенных инструкций обработки участков заготовки или, что еще более повысит уровень автоматизации, операционный чертеж изготавливаемой детали.

Структура и основные блоки САП

Структура универсальных и большинства специализированных САП построена по принципу «процессор-постпроцессор». Это означает, что в системе имеется основной блок — процессор, предназначенный для решения общих геометрических и технологических задач процесса подготовки УП, и ряд согласующих блоков — постпроцессоров, которые увязывают выдаваемые процессором решения с возможностями и особенностями конкретных станков с ЧПУ.

Некоторые, наиболее совершенные САП имеют в своем составе блоки — препроцессоры, в которых по типовой технологии проектируется план операции для изготовления деталей отдельных классов, что позволяет объединить свойства специализированных и универсальных САП.

Типовая структурная схема САП приведена на рис. 66. На этой схеме наряду с препроцессорами, процессором и постпроцессорами показан блок «сервис», перерабатывающий постоянную информацию о станках, инструментах и материалах. Постоянная информация готовится в анкетных формах и вводится в ЭВМ. Блок «сервис» систематизирует и записывает эту информацию в долговременную память ЭВМ в виде таблиц параметров, обращение к которым ведется по указываемым в исходной информации названиям станков, инструментов и материалов заготовки.

В препроцессорах при наибольшем объеме возложенных на них задач технологические операции разделяются на установки и позиции, выбираются схемы крепления заготовки, определяются последовательности переходов и комплектуется инструментальная наладка. Исходная информация для препроцессоров задается преимущественно

венно в табличной или упорядоченной словарной форме на специализированном входном языке. Выходная информация препроцессора передается на процессор на универсальном входном языке, в терминах которого подготавливается исходная информация для процессора при программировании на среднем уровне автоматизации.

Основными задачами процессоров, ориентируемых на конкретные технологические группы станков с ЧПУ, являются определение проходов по выбранным в препроцессоре или заданным в исходной информации обобщенным схемам обработки, расчет режимов резания

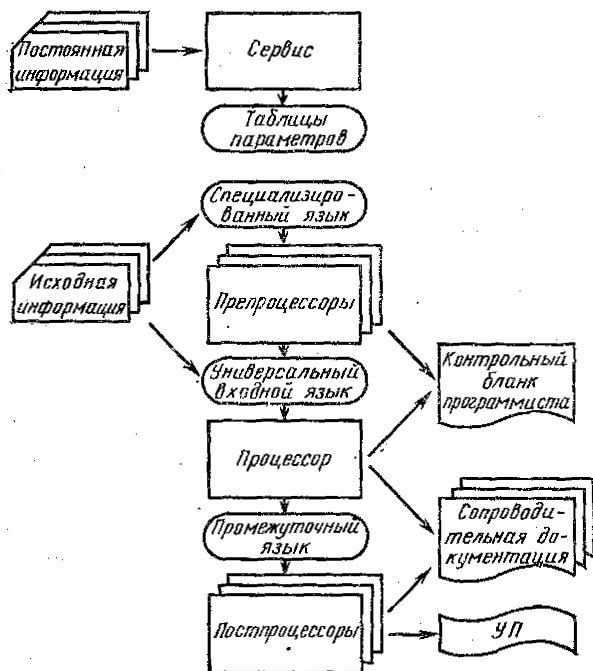


Рис. 66. Типовая структурная схема САП

и вычисление траекторий инструментов. Результаты работы процессора — последовательность и характер движения инструментов относительно контура детали передаются на постпроцессор на промежуточном языке. В процессоре формируются входящие в состав сопроводительной документации карты наладки станка и инструмента.

Воспринятые ЭВМ исходная информация и сообщения об обнаруженных в ней ошибках печатаются в контрольном бланке программиста.

В функции постпроцессоров, разрабатываемых для конкретных комбинаций „станок—УЧПУ“, входят: преобразование „системы координат детали, в которой рассчитаны процессором или заданы в исходной информации движения инструментов, в систему координат станка, в которой задаются записываемые в УП движения рабочих органов станка; формирование элементарных перемещений

с учетом динамических характеристик станка; перевод скоростей резания в частоты вращения шпинделя и подачи на оборот в минутные подачи; учет дискретности задания перемещений; организация смены инструментов и распределение корректоров; кодирование и запись УП на программоноситель. В сопроводительную документацию пост-процессор вносит распечатку УП, данные о продолжительности работы станка по программе, длительность работы отдельных инструментов и другие сведения, необходимые для нормирования и организации работы станка с ЧПУ.

Задание исходной информации

Исходная информация для САП записывается на проблемно-ориентированных машинных языках. Отдельные подсистемы комплексных САП используют подмножества единых языков.

Машинный язык должен удовлетворять ряду требований. Одно из главных требований — простота записи. Данные с чертежей и другой технологической документации должны переноситься в текст исходной информации без существенных пересчетов размеров и изменения

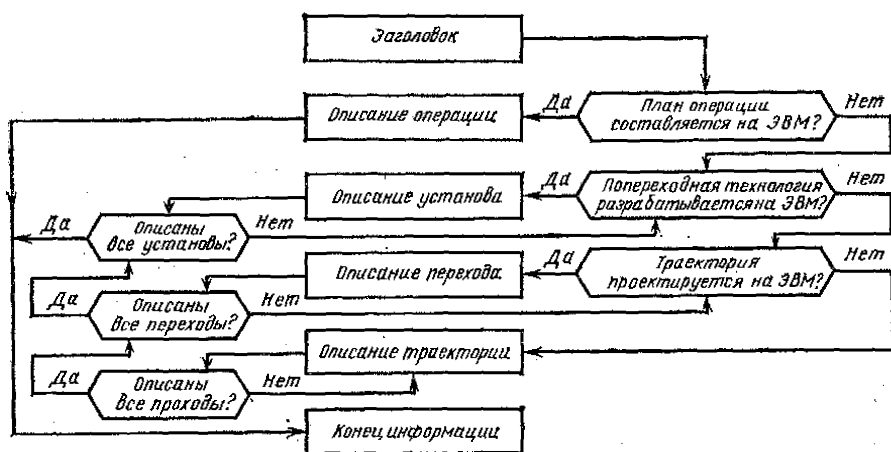


Рис. 67. Состав исходной информации

обозначений. Язык должен быть таким, чтобы технолог-программист мог использовать ЭВМ при ограниченном объеме специальных знаний в области вычислительной техники. К языку предъявляется и чисто техническое требование: информация должна записываться символами, кодирование которых предусмотрено стандартными устройствами подготовки данных и клавиатурой терминальных устройств ЭВМ.

Содержание и состав исходной информации зависят от уровня автоматизации программирования (рис. 67). При программировании на высоком уровне на ЭВМ составляется план операции и разрабатывается попереходная технология. Для этого в исходной информации

описывается вся деталь или ее участки, обрабатываемые в отдельных установках, и условия обработки. На среднем уровне автоматизации на ЭВМ по описанию переходов и заданным обобщенным схемам обработки определяются последовательности проходов. На низком уровне на основании подробно описанных проходов на ЭВМ рассчитываются траектории инструментов. Состав исходной информации определяет технолог-программист исходя из возможностей конкретной САП. При этом для программирования изготовления одной детали могут быть реализованы различные уровни автоматизации программирования.

Входной язык, промежуточный язык «процессор-постпроцессор» и язык кодирования УП являются исходной, промежуточной и выходной формами представления информации при ее переработке в САП. Эти языки находятся на различных стадиях унификации. Так, язык кодирования УП — код ИСО — широко распространен за рубежом и принят в качестве единого кода для отечественных станков с ЧПУ. Промежуточный язык «процессор-постпроцессор» используется в большинстве зарубежных и отечественных САП в редакции, рекомендованной комитетом ИСО. Комитет ИСО подготовил предложения и по входному языку процессора, в которых обобщен опыт разработки входных языков многих зарубежных САП.

Запись на входном языке ИСО ведется аббревиатурами понятий на английском языке. Входной язык ИСО ориентирован на средний и низкий уровни автоматизации программирования, причем запись исходной информации на низком уровне ведется в терминах промежуточного языка «процессор-постпроцессор».

Входной язык ИСО с некоторыми изменениями и дополнениями принят в качестве входного универсального языка единой системы машинного программирования, разрабатываемой странами — членами СЭВ. В частности, входной язык этой САП предусматривает словарь понятий на английском и русском языках.

Входные языки большинства зарубежных и отечественных САП имеют много общего с языком ИСО в синтаксисе и семантике. Различаются входные языки в основном наборами и обозначениями используемых понятий, что обусловлено решаемыми задачами и национальными базами языков.

Синтаксис входного языка определяет формальные правила записи исходной информации, а семантика — смысловое значение его элементов. Элементами входного языка являются фразы, слова и символы.

Фразой записываются определение, указание, арифметическое выражение и обозначение части текста. Правила записи фраз должны обеспечивать однозначность их последующего толкования. Фраза состоит из последовательности слов и знаков.

Словами обозначаются понятия и задаются значения параметров. Различают главные слова, молификаторы, нормализованные обозначения, идентификаторы, маркеры, литералы и числа.

Главные слова определяют типы фраз или команды для выполнения функций, записываемых в виде указаний.

Модификаторы задают типы параметров или признаки для выбора одного из нескольких возможных решений. Главные слова и модификаторы образуют словарь понятий языка.

Нормализованные обозначения — это сокращения (от одной до шести букв) для наиболее часто встречающихся понятий языка. Нормализованные обозначения могут входить непосредственно в словарь понятий языка или определяться в тексте исходной информации как синонимы словарных понятий.

Идентификаторы представляют собой уникальные имена, используемые для обозначения частей текста при ссылках на них во фразах. Идентификаторы, образованные из нормализованных обозначений и номеров, принято называть маркерами.

Литералами считаются любые текстовые конструкции из произвольных комбинаций символов (литер). Литералы служат для записи различных наименований и примечаний, которые переносятся в сопроводительную документацию УП без переработки их в процессоре.

Значения параметров записываются положительными, отрицательными, целыми и дробными числами десятичной системы счисления. При записи дробей целая часть отделяется от дробной десятичной точкой. Числа без знака считаются положительными. Для удобства записи значений некоторых параметров (диаметров, углов и т. п.) применяются так называемые именованные числа, представляющие собой комбинации букв и цифр.

Символы для записи текста исходной информации — буквы, цифры и знаки — выбираются из набора, предусмотренного для представления алфавитно-цифровой информации на входах ЭВМ. Во входных языках используются прописные буквы русского и латинского алфавитов, арабские цифры и знаки — точка, запятая, двоеточие, плюс, минус, черта дроби, равно, левая и правая круглые скобки, звездочка, точка с запятой, кавычки, апостроф, знак денежной единицы, стрелка вверх и пробел.

Структура фраз входного языка ИСО построена по принципу: <Главное слово>/<Вспомогательная часть>. В частном случае фраза может состоять из одного главного слова. Вспомогательная часть фразы содержит комбинацию нормализованных обозначений, модификаторов и значений параметров, или литералы.

Фраза указанного типа может быть обозначена идентификатором: <Идентификатор> = <Главное слово>/<Вспомогательная часть>.

Синтаксис входного языка записывается по следующим правилам: главное слово отделяется от вспомогательной части фразы наклонной чертой; идентификатор отделяется от обозначаемой им фразы знаком равенства; слова во вспомогательной части фразы разделяются запятыми; значения параметров обозначаются строчными латинскими буквами; нормализованные обозначения, модификаторы и значения параметров, которые могут отсутствовать во вспомогательной части фразы, заключаются в квадратные скобки; однотипные повторяющиеся параметры заключаются в квадратные скобки с указанием минимального и максимального числа повторений снизу

и сверху перед открывающейся скобкой; варианты последовательностей параметров указываются один под другим или для лучшей наглядности перечисляются с повторением главного слова.

В заголовке указываются наименование детали, номер УП, заказчик, исполнитель и дата. Эта информация обычно записывается литералами полным текстом и после ввода в ЭВМ воспроизводится в сопроводительной документации для идентификации УП.

В общих данных записываются модель станка с ЧПУ, крепежная и инструментальная оснастка, материал заготовки и другие сведения об условиях обработки, используемые в конкретной САП. Большинство общих данных записывается общепринятыми в машиностроении обозначениями, которые вносятся в словарь понятий входного языка САП при переработке соответствующих анкет.

Записываемый на входном языке текст исходной информации содержит заголовок, общие данные, геометрические определения, технологические описания и примечания.

Геометрические определения служат для описания элементов контуров и поверхностей детали, заготовки и зон обработки, а также траектории инструмента.

Основными геометрическими элементами при описании двухкоординатной фрезерной и токарной обработки являются точки, прямые, окружности и образованные ими линии. Реже линии контуров деталей включают участки эллипсов, гипербол и других кривых второго порядка, а также таблично заданные кривые. Для описания многокоординатной фрезерной обработки кроме перечисленных элементов служат плоскости, сферы, цилиндры, конусы и другие поверхности второго порядка, а также таблично заданные поверхности. При программировании сверлильно-расточных операций геометрическими элементами служат отдельные точки и системы точек, определяющие положения центров обрабатываемых отверстий на плоскости.

Геометрические элементы задаются в исходной информации построительными геометрическими определениями (типами элементов и параметрами), аналитически (коэффициентами уравнений, описывающих эти элементы) и в табличной форме (координатами точек).

Ниже приведены геометрические определения, наиболее часто используемые в различных САП. Записи этих определений выполнены по правилам входного языка ИСО синонимами понятий на базе русского языка согласно табл. 22. Для восстановления оригинала записей на базе английского языка достаточно в приведенных фразах геометрических определений заменить синонимы их ключевыми словами.

Точки определяются:

декартовыми координатами (рис. 68, а)

$$T1 = T/x, y;$$

пересечением двух прямых (рис. 68, б)

$$T2 = T/ПЕР, П1, П2;$$

Понятие	Ключевое слово по ИСО	Синоним	Понятие	Ключевое слово по ИСО	Синоним
Точка	POINT	Т	Больше	LARGE	Б
Прямая	LINE	П	Меньше	SMALL	М
Горизонталь	XPAR	Г	Х больше	XLARGE	ХБ
Вертикаль	YPAR	В	Х меньше	XSMALL	ХМ
Ось X	XAXIS	ОХ	У больше	YLARGE	УБ
Ось Y	YAXIS	ОУ	У меньше	YSMALL	УМ
Ось Z	ZAXIS	ОZ	Z больше	ZLARGE	ЗБ
Окружность	CIRCLE	К	Z меньше	ZSMALL	ЗМ
Эллипс	ELLIPS	Э	Влево	LFT	ВЛ
Гипербола	HIPERB	ГИП	Вправо	RGT	ВПР
Аналитически заданная кривая	GCONIC	АЗК	Вперед	FWD	ВП
Таблично заданная кривая	LCONIC	ТЗК	Назад	BACK	НАЗ
Система точек	PATTERN	СТ	Вверх	UP	ВВ
Плоскость	PLANE	ПЛ	Вниз	DOWN	ВН
Плоскость XY	XYPLAN	ХУПЛ	До	TO	ДО
Плоскость YZ	YZPLAN	УЗПЛ	На	ON	НА
Плоскость ZX	ZXPLAN	ЗХПЛ	За	PAST	ЗА
Плоскость, параллельная XY	ZSURF	ЗПЛ	Исходное положение вершины	FROM	ОТ
Сфера	SPHERE	СФ	Обрабатываемая поверхность	PS	ОП
Цилиндр	CYLNDR	ЦИЛ	Направляющая поверхность	DS	НП
Конус	CONE	КОН	Ограничивающая поверхность	CS	ГП
Таблично заданная поверхность	TABCYL	ТЗП	Справа	RIGHT	СПР
Вектор	VECTOR	ВЕК	Внутри	IN	ВНТ
Система координат	MATRIX	СК	Снаружи	OUT	СН
Припуск	THICK	ПРИП	Инструмент слева	TLLFT	ИНСЛ
Центр	CENTER	Ц	Инструмент справа	TLRGT	ИНСПР
Радиус	RADIUS	Р	Инструмент лежит на ОП	TLOFPS	ИННАОП
Угол	ATANCL	УГ	Инструмент касается ОП	GO	ИД
Шаг	AT	Ш	Иди	GOTO	ИДДО
Рама	—	РАМА	Приращение	GODLTA	ПРИП
Решетка	GRID	РЕШ	Иди влево	GOLFT	ИДВЛ
Пересечение	INTOF	ПЕР	Иди вправо	GORGT	ИДВПР
Смещение	TRANSL	СМ	Иди вперед	GOFWD	ИДВП
Изменение масштаба	SCALE	ШК	Иди назад	GOBACK	ИДНАЗ
Касательная	TANTO	КАС	Иди вверх	GOUP	ИДВВ
Параллельно	PARLEL	ПАР	Иди вниз	GODOWN	ИДВН
Зеркально	MIRROR	ЗЕР	Поворот во-круг оси Z	XYROT	ХУПОВ
По часовой стрелке	CLW	ПОЧ	Поворот во-круг оси Y	ZXROT	ЗХПОВ
Против часовой стрелки	CCLW	ПРЧ	Поворот во-круг оси X	YZROT	УЗПОВ
Слева	LEFT	СЛ	Фреза	CUTTER	ФРЕЗА
Аналитически заданная поверхность	QADRIC	АЗП			

пересечением прямой и окружности (рис. 68, в)

$$T3 = T/XБ, \text{ ПЕР, П1, К1};$$

пересечением двух окружностей (рис. 68, г)

$$T4 = T/УБ, \text{ ПЕР, К1, К2};$$

полярными координатами (рис. 68, д)

$$T5 = T/XУПЛ, r, \varphi;$$

окружностью и центральным углом (рис. 68, е)

$$T6 = T/К1, УГ, \alpha;$$

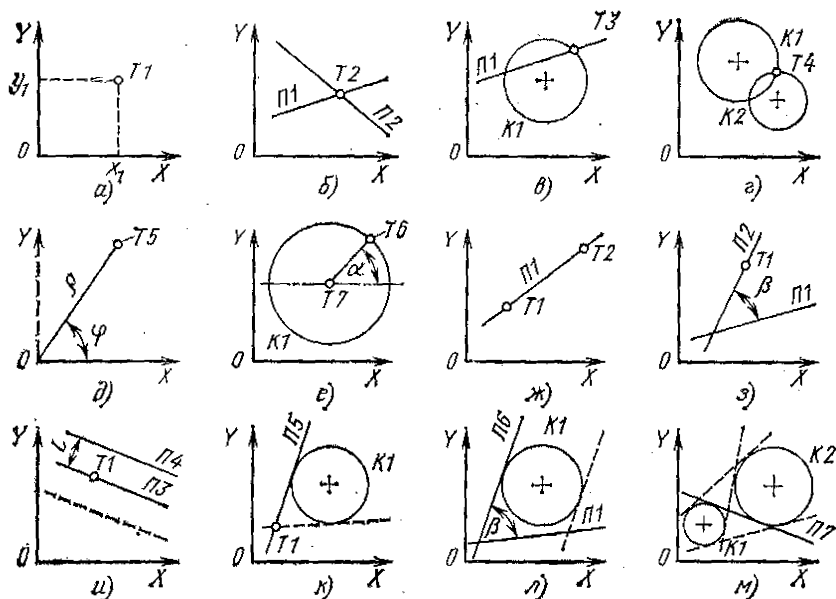


Рис. 68. Параметры точек и прямых

центром окружности (рис. 68, е)

$$T7 = T/Ц, К1.$$

Прямые определяются:

двумя точками (рис. 68, ж)

$$П1 = П/T1, T2;$$

точкой и углом наклона (рис. 68, з)

$$П2 = П/T1, УГ, \beta, П1;$$

точкой и параллельной прямой (рис. 68, и)

$$П3 = П/T1, ПАР, П1;$$

параллельной прямой и расстоянием (рис. 68, и)

$$П4 = П/ПАР, П3, УБ, l;$$

точкой и касательной окружностью (рис. 68, к)

$$П5 = П/Т1, \text{ СЛ, КАС, К1};$$

углом наклона и касательной окружностью (рис. 68, л)

$$П6 = П/УГ, \beta, П1, ХМ, КАС, К1;$$

двумя касательными окружностями (рис. 68, м)

$$П7 = П/СЛ, КАС, К1, СПР, КАС, К2.$$

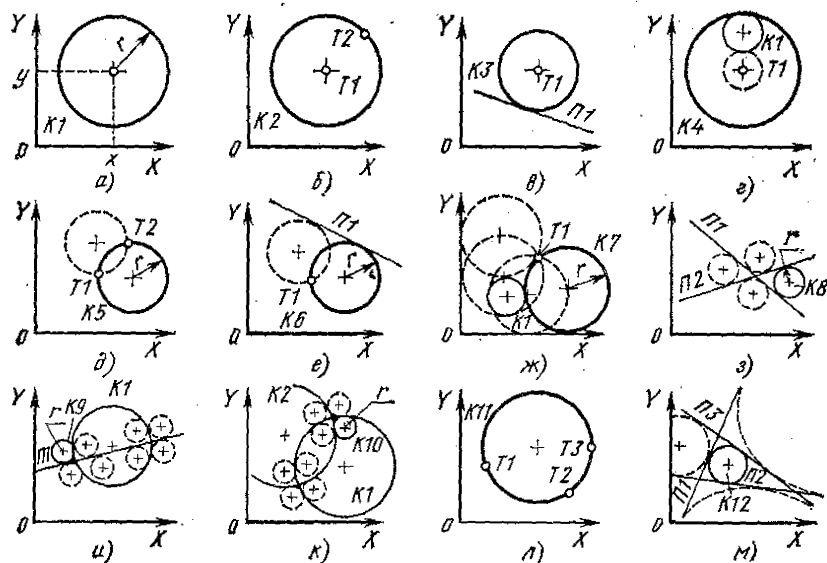


Рис. 69. Параметры окружностей

Кроме указанных случаев, возможна упрощенная запись определения прямой, параллельной одной из осей координат:

$$ПN_2 = П / \begin{matrix} B, x \\ \Gamma, y \end{matrix}$$

и прямой, совпадающей с осью координат:

$$ПN_2 = П / \begin{matrix} OX \\ OY \\ OZ \end{matrix}$$

Окружности определяются:

координатами центра и радиусом (рис. 69, а)

$$K1 = K/x, y, r;$$

центром и точкой на окружности (рис. 69, б)

$$K2 = K/Ц, T1, T2;$$

центром и касательной прямой (рис. 69, *в*)

$$K3 = K/Ц, T1, КАС, П1;$$

центром и касательной окружностью (рис. 69, *з*)

$$K4 = K/Ц, T1, Б, КАС, K1;$$

двумя точками и радиусом (рис. 69, *д*)

$$K5 = K/УМ, T1, T2, Р, г;$$

касательной прямой, точкой и радиусом (рис. 69, *е*)

$$K6 = K/КАС, П1, ХБ, T1, Р, г;$$

точкой касательной окружностью и радиусом (рис. 69, *ж*)

$$K7 = K/T1, УМ, СН, K1, Р, г;$$

двумя касательными прямыми и радиусом (рис. 69, *з*)

$$K8 = K/УБ, П1, ХБ, П2, Р, г;$$

касательными прямой и окружностью и радиусом (рис. 69, *и*)

$$K9 = K/УБ, П1, ХМ, СН, K1, Р, г;$$

двумя касательными окружностями и радиусом (рис. 69, *к*)

$$K10 = K/УБ, ВНТ, K1, СН, K2, Р, г;$$

тремя точками (рис. 69, *л*)

$$K11 = K/T1, T2, T3;$$

тремя касательными прямыми (рис. 69, *м*)

$$K12 = K/ХБ, П1, УБ, П2, УМ, П3.$$

Эллипсы (рис. 70, *а*) и гиперболы (рис. 70, *б*) определяются центром, полуосями и углом наклона главной оси

$$\mathcal{E}1 = \mathcal{E}/Ц, T1, a, b, УГ, \alpha;$$

$$\Gamma1 = ГИП/Ц, T1, a, b, УГ, \alpha.$$

Эти и другие кривые второго порядка могут быть определены аналитически уравнениями вида

$$ax^2 + by^2 + cxy + dx + ey + f = 0$$

и заданы коэффициентами (рис. 70, *в*)

$$A3K1 = A3K/a, b, c, d, e, f.$$

Таблично заданные кривые (рис. 70, *г*) определяются последовательностью точек

$$T3K1 = T3K/T1, T2, ..., T_n$$

или, если известны касательные в начале и в конце кривой, —

$$T3K1 = T3K/T1, КАС, П1, T2, ..., T_n, КАС, П2.$$

Системы точек определяются:
 прямой, заданной начальной и конечной точками, и числом точек
 (рис. 70, б)

$$CT1 = CT/П, T1, T2, n;$$

прямой, заданной точкой и углом наклона, числом и значениями шагов
 (рис. 70, в)

$$CT2 = CT/П, T1, УГ, \alpha, n_1, Ш, l_1, n_2, Ш, l_2;$$

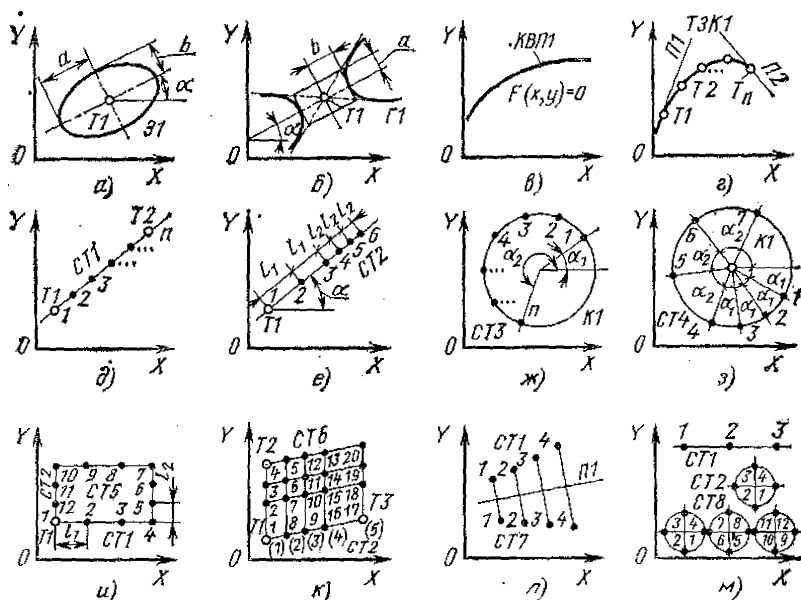


Рис. 70. Параметры эллипса, гиперболы, аналитически и таблично заданных кривых и систем точек

окружностью, углами наклона к оси абсцисс радиусов, проведенных к начальной и конечной точкам, направлением отсчета и числом точек
 (рис. 70, ж)

$$CT3 = CT/К, K1, \alpha_1, \alpha_2, ПРЧ, n;$$

окружностью, направлением, числом шагов и приращениями углов наклона к оси абсцисс радиусов, проведенных к определяемым точкам
 (рис. 70, з),

$$CT4 = CT/К, K1, ПОЧ, n_1, Ш, \alpha_1, n_2, Ш, \alpha_2;$$

рамой, заданной двумя системами точек (рис. 70, и),

$$CT5 = CT/РАМА, CT1, CT2;$$

решеткой, заданной двумя системами точек (рис. 70, к),

$$CT6 = CT/РЕШ, CT1, CT2;$$

зеркальным отображением системы точек относительно прямой (рис. 70, л)

$$CT7 = CT/ЗЕР, П1, СТ1$$

или другим преобразованием системы точек, например ее повторением в закономерности, заданной другой системой точек (рис. 70 м),

$$CT8 = CT/К, СТ1, СТ2.$$

Плоскости определяются:
тремя точками (рис. 71, а)

$$ПЛ1 = ПЛ/Т1, Т2, Т3;$$

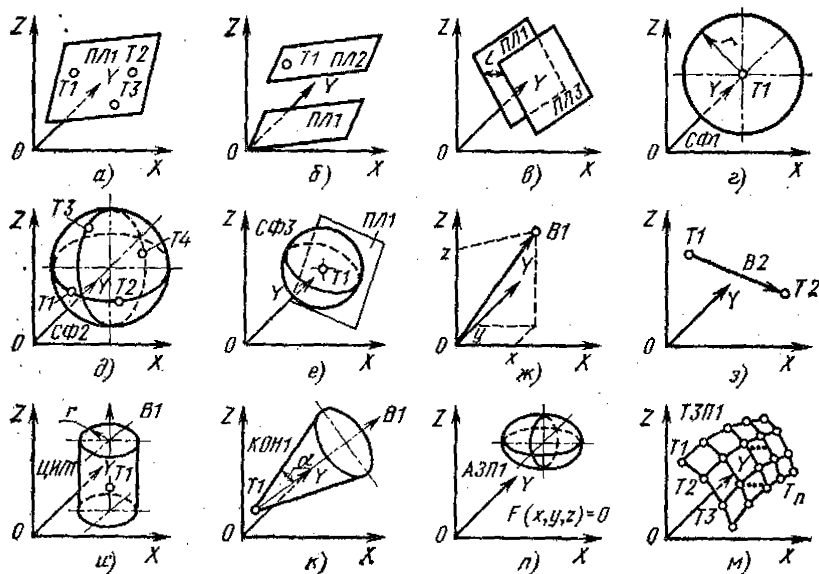


Рис. 71. Параметры плоскостей, сфер, векторов, цилиндра, конуса, аналитически и таблично заданных поверхностей

точкой и параллельной плоскостью (рис. 71, б)

$$ПЛ2 = ПЛ/Т1, ПАР, ПЛ1;$$

параллельной плоскостью и расстоянием (рис. 71, в)

$$ПЛ3 = ПЛ/ПАР, ПЛ1, ХБ, l$$

или аналитически

$$ПЛ № = ПЛ/a, b, c, d$$

где параметры являются коэффициентами уравнения

$$ax + by + cz - d = 0.$$

Координатные плоскости обозначаются синонимами ХУПЛ, YZПЛ и ZХПЛ, а плоскость, параллельная координатной плоскости ХУ, задается фразой

$$\text{ПЛ}\text{№} = \text{ZПЛ}/z.$$

Сферы определяются:

центром и радиусом (рис. 71, а)

$$\text{СФ1} = \text{СФ}/\text{Ц}, \text{T1}, \text{P}, \text{r};$$

четырьмя точками (рис. 71, б)

$$\text{СФ2} = \text{СФ1}/\text{T1}, \text{T2}, \text{T3}, \text{T4};$$

центром и касательной плоскостью (рис. 71, в)

$$\text{СФ3} = \text{СФ}/\text{Ц}, \text{T1}, \text{КАС}, \text{ПЛ1}.$$

Векторы определяются:

координатами конечной точки (рис. 71, ж)

$$\text{В1} = \text{ВЕК}/x, y, z;$$

начальной и конечной точками (рис. 71, з)

$$\text{В2} = \text{ВЕК}/\text{T1}, \text{T2}.$$

Цилиндры определяются радиусом и осью, заданной вектором и точкой (рис. 71, и),

$$\text{ЦИЛ1} = \text{ЦИЛ}/\text{T1}, \text{В1}, \text{r}.$$

Конусы определяются вершиной, вектором оси и углом при вершине (рис. 71, к)

$$\text{КОН1} = \text{КОН}/\text{T1}, \text{В1}, \alpha.$$

Поверхности второго порядка могут быть определены аналитически уравнениями вида

$$ax^2 + by^2 + cz^2 + fyz + gxz + hxy + px + qy + rz + d = 0$$

и заданы коэффициентами (рис. 71, л)

$$\text{АЗП1} = \text{АЗП}/a, b, c, f, g, h, p, q, r, d.$$

Таблично заданные поверхности определяются различными способами и, в частности, точками в выбранных сечениях (рис. 71, м)

$$\text{ТЗП1} = \text{ТЗП}/\text{T1}, \text{T2}, \dots, \text{T}_n.$$

При записи геометрических определений вместо ссылки на маркер элемента может быть записано в круглых скобках его определение. Например, приведенное выше определение прямой П1, проходящей через точки Т1 и Т2, можно записать в виде

$$\text{П1} = \text{П}/(\text{T}/x_1, y_1), (\text{T}/x_2, y_2).$$

Геометрические элементы детали (см. рис. 32) после обозначения их маркерами (рис. 72) запишутся на входном языке ИСО следующими фразами:

$$\text{П1} = \text{П}/\text{ОУ}$$

$$\text{П2} = \text{П}/(\text{T}/0,40), \text{УГ}, 63.5, \text{ОХ}$$

$$ПЗ = \bar{П}/Г, 70$$

$$К1 = К/70, 40, 40$$

$$К2 = К/УБ, П4, ХБ, СН, К1, Р, 60$$

$$П4 = \bar{П}/Г, 40$$

$$П5 = \bar{П}/В, 170$$

$$П6 = \bar{П}/ОХ$$

$$К3 = К/70, 40, 60$$

$$СТ1 = СТ/К, К4, 0, 240, ПРЧ, 3$$

$$К4 = К/70, 40, 70$$

$$СТ2 = СТ/П, (Т/20, 20), УГ, 0, 2, Ш, 130$$

Входной язык ИСО позволяет записывать и математические выражения, включая тригонометрические, логарифмические и другие функции. Запись арифметических выражений ведется в одной строке с использованием знаков $+$, $-$, $*$, $/$ и $**$ соответственно для операций сложения, вычитания, умножения, деления и возведения в сте-

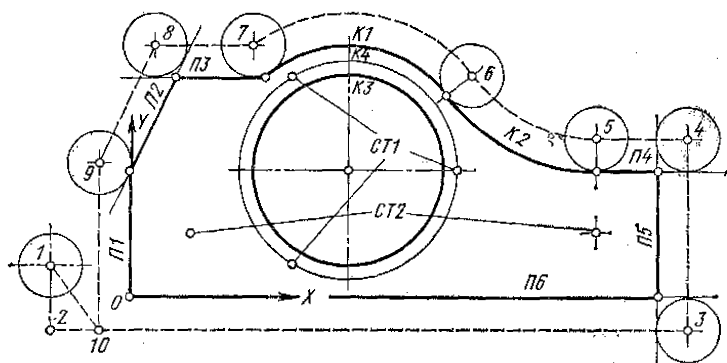


Рис. 72. Обозначение геометрических элементов детали «крышка» для записи исходной информации

пень. Например, выражение $A = \frac{(15,7 + 8)^3 - 2,3 \cdot 6}{2}$ записывается на входном языке в виде

$$A = ((15.7 + 8) ** 3 - 2.3 * 6) / 2.$$

Линии контуров детали и зон обработки определяются последовательностью геометрических элементов с указанием признаков, исключающих неоднозначность выбора точек пересечения соседних элементов. Начало и конец контура ограничиваются точками. Направление контура задается понятиями «вперед», «назад», «влево», «вправо» и т. п. Например, линия замкнутого наружного контура детали (см. рис. 72) в направлении его обхода против часовой стрелки, начиная от точки начала системы координат, описывается с помощью

ранее определенных геометрических элементов этой детали следующим образом:

ОТ/(Т/0,0), ХБ, П6

ВЛ/П5

ВЛ/П4

ВП/К2

ВП/К1,2,ПЕР,П3

ВП/П3

ВЛ/П2

ВЛ/П1,ДО,(Т/0,0).

Линии могут быть определены смещением, поворотом, зеркальным отображением и изменением масштаба других линий. Эти преобразования записываются с помощью фраз, определяющих систему координат.

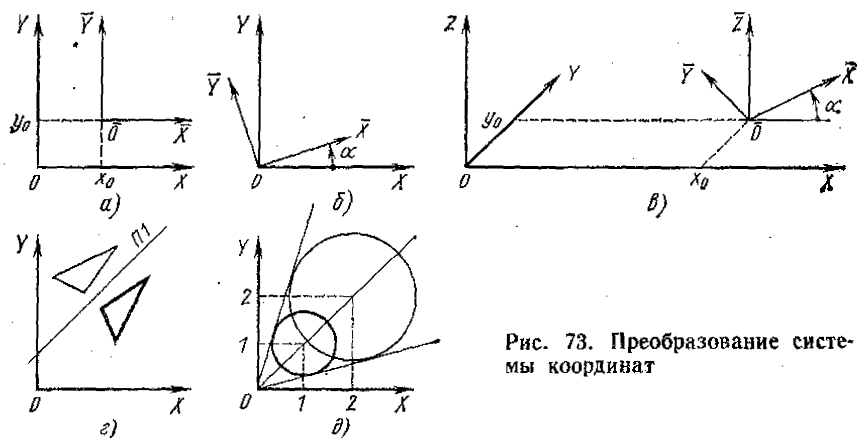


Рис. 73. Преобразование системы координат

Так, смещение системы координат $X'Y'$ (рис. 73, а) записывается фразой

СК/СМ, x_0, y_0 .

где x_0, y_0 — координаты начала новой системы координат в старой системе.

Поворот системы координат на угол α (рис. 73, б) записывается фразой

СК/ХУПОВ, α .

Смещение и поворот системы координат $X'Y'Z'$ в плоскости $X'Y'$ (рис. 73, в) записывается фразой

СК/ $x_0, y_0, 0$, ХУПОВ, α .

В общем виде преобразование системы координат можно записать фразой

СК/ $a_1, b_1, c_1, d_1, a_2, b_2, c_2, d_2, a_3, b_3, c_3, d_3$,

12 параметров которой являются коэффициентами трех уравнений, описывающих связь между координатами точек в новой ($\bar{X}\bar{Y}\bar{Z}$) и старой (XYZ) системах координат:

$$\bar{x} = a_1x + b_1y + c_1z - d_1;$$

$$\bar{y} = a_2x + b_2y + c_2z - d_2;$$

$$\bar{z} = a_3x + b_3y + c_3z - d_3.$$

Например, для приведенного на рис. 73, в преобразования системы координат можно записать:

$$\bar{x} = x \cos \alpha + y \sin \alpha - x_0;$$

$$\bar{y} = x \sin \alpha + y \cos \alpha - y_0;$$

$$\bar{z} = z.$$

Тогда после подстановки значений $x_0 = 7,5$ мм, $y_0 = 3$ мм и $\alpha = 45^\circ$ указание о преобразовании системы координат запишется в виде

$$\text{СК}/0.707, 0.707, 0, 7.5, -0.707, 0.707, 0, 3, 0, 0, 1, 0.$$

Зеркальное отображение относительно прямой П1 (рис. 73, е) записывается фразой

$$\text{СК}/\text{ЗЕР}, \text{П1},$$

а увеличение масштаба в a раз, например, как это показано на рис. 73, д ($a = 2$), где большая окружность изображена в старой, а малая окружность — в новой системах координат, запишется в виде

$$\text{СК}/\text{ШК}, 2.$$

Траектория инструмента на входном языке ИСО описывается командами движения и указаниями о положении инструмента относительно ранее определенных геометрических элементов.

Исходное положение инструмента задается точкой, в которой находится его вершина:

$$\text{OT} / \text{TN}_2 \\ \text{х, у [, z]}$$

Команды движения при позиционном управлении перемещениями от точки к точке определяют последовательность положений вершины инструмента в абсолютной или относительной системе координат.

Абсолютное перемещение задается фразой

$$\text{TN}_2$$

$$\text{ИДДО}/\text{х, у [, z]}$$

$$\text{СТN}_2 \text{ (модификаторы)}$$

где модификаторы определяют схему обхода системы точек или исключаемые при ее обходе точки.

Фраза для задания приращений

$$\text{ИДПРИР}/[\Delta x, \Delta y,] \Delta z$$

при полном наборе параметров определяет перемещение вдоль всех осей координат, а в случае указания одного параметра — перемещение вдоль оси инструмента.

Участки траектории инструмента при непрерывном управлении обработкой контуров и поверхностей задаются командами начала и продолжения движения с указанием расположения инструмента относительно обрабатываемой (ОП), направляющей (НП) и ограничивающей (ГП) поверхностей (рис. 74). В общем случае принимается, что на каждом участке траектории инструмент движется по ОП вдоль НП до ГП.

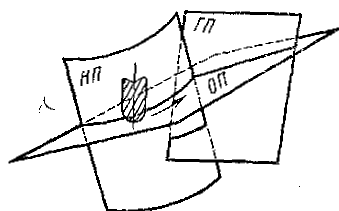


Рис. 74. Обрабатываемая, направляющая и ограничивающая поверхности

Положение инструмента относительно НП задается указаниями ИННА (рис. 75, а), ИНСЛ (рис. 75, б) и ИНСПР (рис. 75, в), а относительно ОП — указаниями ИННАОП (рис. 75, г) и ИНПООП (рис. 75, д), кроме случая, когда ось инструмента перпендикулярна ОП (рис. 75, е), как это показано на рис. 75. На этом же рисунке пояснено поло-

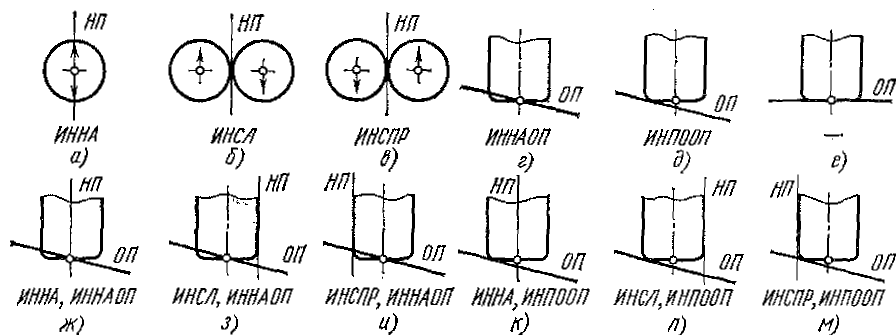


Рис. 75. Положение инструмента относительно направляющей и обрабатываемой поверхностей

жение инструмента при совместном задании указаний в предположении, что инструмент движется от наблюдателя к плоскости чертежа (рис. 75, ж—м).

Команда начала движения задается фразой

$$\begin{array}{c} \text{ДО} \\ \text{ИД/НА, } \langle \text{маркер НП} \rangle \\ \text{ЗА} \end{array} \left[\begin{array}{c} \text{ДО} \\ \text{НА, } \langle \text{маркер ОП} \rangle \\ \text{ЗА} \end{array} \right], \begin{array}{c} \text{ДО} \\ \text{НА, } \langle \text{маркер ГП} \rangle \\ \text{ЗА} \\ \text{КАС} \end{array} \left[\begin{array}{c} \text{ДО} \\ \text{НА, } \langle \text{маркер ГП} \rangle \\ \text{ЗА} \\ \text{КАС} \end{array} \right]$$

а команда продолжения движения — одной из фраз

ИД * * */маркер НП

ДО

НА

ИД * * */(маркер НП), ЗА, [(номер пересечения), ПЕР,] (маркер ГП),
КАС

в зависимости от того, в одной или более точках пересекаются текущий и последующий геометрические элементы, вдоль которых движется инструмент. Задание модификаторов ДО, НА, ЗА и КАС иллюстрирует рис. 76, где стрелкой показано направление движения

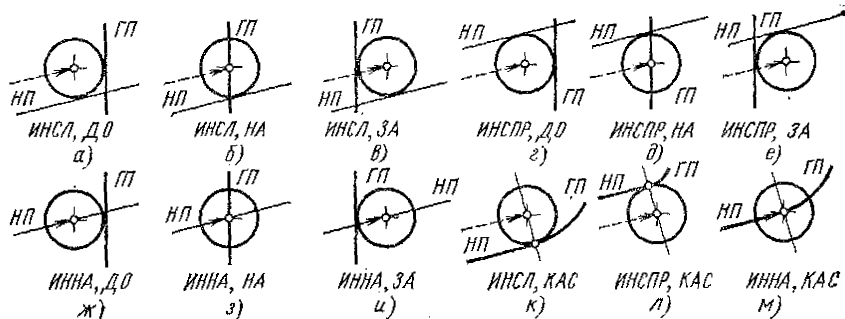


Рис. 76. Положение инструмента относительно направляющей и ограничивающей поверхностей

инструмента. Словом «ИД * * *» обозначена группа слов ИДВЛ, ИДВПР, ИДВП, ИДНАЗ, ИДВВ и ИДВН, определяющих текущее направление движения инструмента относительно предыдущего.

При описании траектории инструмента фразой

ПРИП/, [(число)]

можно учесть припуск на обработку, причем если задано три числа, то они указывают значения «недоходов» инструмента соответственно до ОП, НП и ГП; если два числа, то первое число относится к ОП, а второе — к НП и ГП; если одно число, то оно относится ко всем трем поверхностям.

Примером задания участков траектории командами движения может служить описание обозначенной на рис. 72 пунктиром траектории:

ОТ/—25, —30, 40

ПРИП/0, 0, 6

ИД/ДО, П6, НА, ХУПЛ, ДО, П1

ИНСПР

ИДВПР/П6

ИДВЛ/П5

ИДВЛ/П4

ИДВП/К2

ИДВП/К1, ДО, 2, ПЕР, ПЗ

ИДВП/ПЗ

ИДВЛ/П2

ИДВЛ/П1, ЗА, П6

ИД/—25, —30, 40

На входном языке ИСО геометрическое описание инструмента (фрезы) задается фразой (рис. 77)

ФРЕЗА/dI, rI, e, f, a, b, hII.

Содержание технологических описаний зависит от принятого технологом-программистом и возможного для данной САП уровня автоматизации программирования. При задании технологической информации на входном языке САП высокого уровня указываются класс детали, материал заготовки, крепежная оснастка и, при необходимости, инструментальная наладка. По этим данным в препроцессоре решаются задачи проектирования операционной технологии и на процессор выдается последовательность переходов с указанием обобщенных схем их обработки. На среднем уровне автоматизации программирования САП в исходной информации задаются сведения об установках и технологические указания о проведении отдельных переходов — типы зон и схемы их обработки, инструменты и, если требуется, режимы резания. Эта информация перерабатывается процессором в последовательность подробных указаний, выдаваемых на постпроцессор на промежуточном языке процессор-постпроцессор. В состав исходной информации на низком уровне автоматизации программирования могут быть включены подробные указания об условиях выполнения рабочих и вспомогательных ходов и отдельные команды исполнительным механизмам станка, которые без качественной их переработки в процессоре выдаются на постпроцессор на промежуточном языке.

Технологические описания в настоящее время находятся в стадии стандартизации комитетом ИСО. Примеры задания некоторых из них пояснены при описании промышленных САП.

Промежуточный язык «процессор-постпроцессор»

Унификация разработки постпроцессоров и их стыковка с различными САП требует принятия единого промежуточного языка «процессор-постпроцессор». Как указывалось, наибольшее распространение получил промежуточный язык, рекомендованный комитетом ИСО. Руководящие технические материалы РТМ2 Н00-11—79 устанавливают для отечественных САП базовое подмножество этого

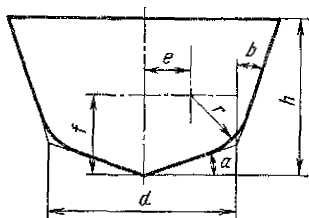


Рис. 77. Параметры режущей части инструмента

языка, в котором исключено большинство дублирующих друг друга понятий, а единицы измерения приведены в соответствие с системой СИ.

Записанный на промежуточном языке текст передаваемой из процессора на постпроцессор информации принято называть CLDATA. Фразами CLDATA являются отдельные записи, обозначающие законченные по смыслу определения или указания.

В общем случае запись состоит из главной и вспомогательной частей. Главная часть определяет название записи, а во вспомогательной части задаются параметры. Некоторые записи содержат только главную часть.

Запись представляет собой последовательность от 1 до 245 логических слов, разделенных знаками. Логические слова, обозначающие названия записей (главные слова) и параметров (вспомогательные слова) образованы сокращениями слов и аббревиатурами понятий на английском языке до шести буквенно-цифровых символов. Словари главных и вспомогательных слов базового подмножества промежуточного языка приведены в табл. 23 и 24. В ЭВМ эти слова распознаются по их кодам (см. приложение).

Логическими словами, кроме указанных, являются целые и дробные десятичные числа для записи значений параметров и произвольные сочетания буквенно-цифровых символов, с помощью которых задаются наименования детали и станка с ЧПУ, режимы работы постпроцессора, идентификаторы геометрических элементов и участки текста сопроводительной документации.

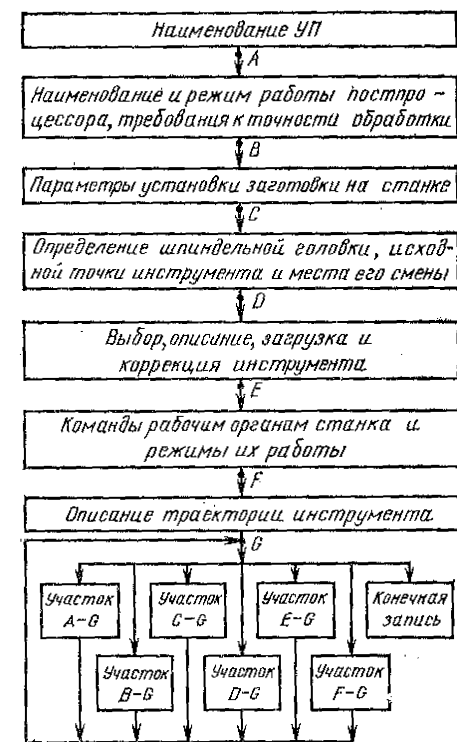


Рис. 78. Вертикальная структура промежуточного языка «процессор-постпроцессор»

Возможную последовательность записей в тексте CLDATA определяет вертикальная структура, а порядок следования логических слов в записях — горизонтальная структура промежуточного языка.

В тексте CLDATA можно выделить участки, описывающие самостоятельные по значению группы данных. Их последовательность показана на рис. 78. Границы участков на этом рисунке обозначены буквами от А до G.

Текст CLDATA начинается записью (PARTNO), присваивающей название УП. Записи группы данных А—В определяют постпро-

Таблица 23

Главное слово	Значение	Главное слово	Значение
CARDNO	Номер указания	MCHTOL	Точность обработки
CIRCLE	Окружность	MODE	Режим
CLAMP	Зажим	MULTAX	Многокоординатная обработка
CLEARP	Безопасная плоскость	OPSKIP	Условный пропуск
COOLNT	Охлаждение	OPSTOP	Дополнительный останов
COUPLE	Связь	ORIGIN	Начало
CUTCOM	Компенсация инструмента	PARTNO	Номер детали
CYCLE	Цикл	PITCH	Шаг
DELAY	Выдержка	PPRINT	Печать постпроцессора
DRESS	Правка	RAPID	Быстрый ход
END	Конец	RETRGT	Отвод
FEDRAT	Подача	REWIND	Перемотка
FINI	Конечная запись	ROTABL	Поворот стола
FROM	Исходное положение	SAFPOS	Безопасная позиция
GHOME	Возврат	SELCTL	Выбор инструмента
GOTO	Перемещение	SPINDL	Шпиндель
HEAD	Головка	STOP	Останов
INSERT	Вставка	THREAD	Резьба
LOADTL	Загрузка инструмента		
MACHIN	Станок		

Таблица 24

Вспомогательное слово	Значение	Вспомогательное слово	Значение
BORE	Расточка	OFF	Включение
BOTH	Оба	ON	Выключение
BRKCHP	Ломка стружки	ORIENT	Ориентация
CCLW	Против часовой стрелки	OSETND	Номер корректора
CLW	По часовой стрелке	RANGE	Диапазон
CUTANG	Угол резания	RAPTO	Подвод на быстром ходу
CUTS	Проход	REV	Число оборотов
DEEP	Глубокое сверление	RIGHT	Справа
DEPTH	Глубина	SETOOL	Положение настроечной точки
DIAMET	Диаметр	SMM	Скорость в м/мин
DRILL	Сверление	TAP	Нарезание резьбы
DWELL	Выстой	THRU	Чередование рабочего и быстрого ходов
FACE	Цекование	TOOL	Инструмент
FINCUT	Окончательный проход	XCOORD	Координата X
INCR	Приращение	XYPLAN	Плоскость XY
INVERS	Обратная ориентация	YCOORD	Координата Y
LEFT	Слева	YZPLAN	Плоскость YZ
LENGTH	Длина	ZCOORD	Координата Z
MANUAL	Вручную	ZXPLAN	Плоскость ZX
MMPM	Мм/мин		
MMPR	Мм/об		
MULTRD	Многозаходная резьба		

цессор (MACHIN), режим его работы (MODE) и требования к точности обработки перемещений (MCHTOL). Записи группы данных *B—C* задают параметры установки заготовки на станке (CLAMP или ORIGIN), связывающие системы координат детали и станка. Записи группы данных *C—D* определяют шпиндельную головку (HEAD), исходную точку инструмента (FROM), место его смены (SAFPOS) и плоскость (CLEARP), в которой безопасно быстрое перемещение инструмента. Записи группы данных *D—E* связаны с выбором (SELCTL), описанием и установом инструмента в рабочую позицию (LOADTL), а также его коррекцией (CUTCOM). Записи группы данных *E—F* содержат команды рабочим органам станка (COOLNT, DRESS, ROTABL) и режимы их работы (SPINDL, FEDRAT, RAPID, STOP, OPSTOP, OPSKIP, DELAY, PITCH, COUPLE). Наконец, записи группы данных *F—G* определяют траекторию инструмента (GOTO, CIRCLE, MULTAX, CYCLE, THREAD, GONOME, RETRCT). Кроме перечисленных записей в тексте CLDATA используются записи для обозначения конца участка обработки (END), вставки кадров программы (INSERT), перемотки перфоленты (REWIND), печати выходных документов (PPRINT), идентификации текста исходных данных с записями CLDATA (GARDNO) и конца текста CLDATA (FINI).

Если после границы, обозначенной на рис. 78 буквой *G*, следует участок *A—G*, то изготовление детали будет продолжено на другом станке. Повторение участка *B—G* вызывается переустановом заготовки. Появление нового участка *C—G* означает обработку с использованием другой шпиндельной головки или другого суппорта станка. Участок *D—G* повторяется при смене инструмента, а участок *E—G* — при изменении режима резания. Каждый из участков *F—G* описывает отдельный элемент траектории инструмента.

Горизонтальная структура промежуточного языка представлена ниже перечнем записей с указанием их назначения и синтаксиса. Синтаксис промежуточного языка записан по тем же правилам, что и синтаксис входного языка САП.

Номер детали* (PARTNO). Запись задает наименование и номер детали для идентификации УП:

PARTNO/₁ⁿ[символ].

Станок (MACHIN). Запись задает наименование (имя) и номер (а) простпроцессора для конкретного станка с ЧПУ, а также предусматривает задание символов, слов или параметров (b) для его вызова:

MACHIN/имя [, a] $\left[\begin{array}{l} \text{, символ} \\ \text{, слово} \\ \text{, b} \end{array} \right]$.

Режим* (MODE). Запись задает символы, слова или параметры (a) режима работы постпроцессора:

$$\text{MODE} \left/ \begin{array}{c} \text{символ} \\ \text{слово} \\ a \end{array} \right. \begin{array}{l} n \\ , \\ 0 \end{array} \left[\begin{array}{c} \text{символ} \\ , \text{ слово} \\ , a \end{array} \right].$$

Точность обработки* (MCHTOL). При программировании позиционных систем управления запись определяет режим позиционирования, а при контурном управлении задает наибольшее отклонение от траектории при резком изменении направления движения инструмента (a) или допустимые ошибки перебега (b) и недохода (c):

$$\text{MCHTOL} \left/ \begin{array}{c} a \\ b, c \end{array} \right.$$

Зажим* (CLAMP). Запись определяет расположение детали в системе координат станка путем задания расстояния между базовой плоскостью патрона и началом системы координат детали (a) и прямую или обратную (INVERS) ориентацию детали по отношению к ее положению на чертеже:

$$\text{CLAMP}/a \text{ [, INVERS]}.$$

Начало* (ORIGIN). Запись задает координаты x, y (a, b) и другие координаты (c) начала системы координат станка в системе координат детали:

$$\text{ORIGIN}/a, b \text{ [], c]}.$$

Головка* (HEAD). Запись задает номер требуемой головки (a) или одновременную работу двух головок (BOTH):

$$\text{HEAD} \left/ \begin{array}{c} a \\ \text{BOTH} \end{array} \right.$$

Исходное положение* (FROM). Запись определяет координаты x, y и z (a, b и c) точки исходного положения вершины инструмента в системе координат детали как частный случай записи параметров линейного перемещения:

$$\text{FROM}/\dots a, b, c.$$

Безопасная позиция* (SAFPOS). Запись определяет координаты x, y и z (b, c и a) системы координат детали, в которые приводится вершина инструмента для его смены:

$$\text{SAFPOS} \left/ \begin{array}{c} a \\ b, c \text{ [, a]} \end{array} \right.$$

Безопасная плоскость* (CLEARP). Запись определяет плоскость, по которой безопасно быстрое перемещение вершины инструмента. Плоскость задается координатами x, y и z (b, c и d) нормального единичного вектора и расстоянием (e) до этой плоскости от на-

чала системы координат детали либо как плоскость XY (XYPLAN) с координатой z (f):

CLEARP /^{b, c, d, e}
[XYPLAN,] f.

Выбор инструмента (SELCTL). Запись задает идентификационный номер инструмента или его позицию в инструментальном магазине (b):

SELCTL/b.

Загрузка инструмента (LOADTL). Запись задает смену инструмента, определяет его символику (TOOL, символ, a), идентификационный номер или позицию в магазине (b), длину (LENGTH, c) координаты x, y, z настроечной точки в системе координат инструмента (SETOOL, d, e, f), диаметр (DIAMET, j), номер корректора (OSETNO, k) или номера корректоров для двух координат (OSETNO, k, l) и указывает, устанавливается ли инструмент вручную (MANUAL) или автоматически:

LOADTL/[TOOL, символ, a, b [, LENGTH, c] [, SETOOL, d, e, f] [, DIAMET, j] [, OSETNO, k [, l]] [, MANUAL]].

Компенсация инструмента* (CUTCOM). Запись определяет номера корректоров для компенсации длины (LENGTH, a) или радиуса инструмента (RADIUS, f), плоскость компенсации XY (XYPLAN), YZ (YZPLAN) или ZX (ZXPLAN) и номер корректора (e), номера корректоров по осям X (XCOORD, b), Y (YCOORD, c) и Z (ZCOORD, d), задает выключение (ON) или включение корректора (OFF), а также определяет положение инструмента справа (RIGHT) или слева относительно направления его движения вдоль контура (LEFT):

CUTCOM /^{ON}
OFF l, LENGTH [, a]

CUTCOM /^{ON}
OFF
RIGHT l, RADIUS, f
LEFT

CUTCOM /^{ON}
OFF l, XCOORD, b] l, YCOORD, c] [, ZCOORD, d]

CUTCOM /^{ON}
OFF $\begin{bmatrix} , XYPLAN \\ , YZPLAN \\ , ZXPLAN \end{bmatrix}$ [, e]

Охлаждение (COOLNT). Запись задает выключение (ON) или включение подачи охлаждения (OFF) и определяет номер трубопровода (a):

COOLNT /^{ON}
OFF %[, a].

Правка (DRESS). Запись задает команду на автоматическую правку шлифовального круга:

DRESS.

Поворот стола (ROTABL). Запись задает угол поворота стола в градусах (a) или приращение этого угла (INCR, b) и направление вращения по часовой стрелке (CLW) или против часовой стрелки (CCLW):

$$\text{ROTABL} / \begin{matrix} a \\ \text{INCR, } b \end{matrix} \left[\begin{matrix} , \text{ CLW} \\ , \text{ CCLW} \end{matrix} \right].$$

Шпиндель (SPINDL). Запись определяет номер диапазона частот вращения шпинделя (RANGE, c), частоты его вращения в об/мин (a) или скорость резания в м/мин (SMM, b), направление по ходу часовой стрелки (CLW) или против хода часовой стрелки (CCLW), а также задает выключение (ON), включение с восстановлением предыдущей частоты вращения (OFF) или поворот шпинделя до фиксированного положения (ORIENT, o) и его зажим:

$$\text{SPINDL} / \begin{matrix} a \\ \text{SMM, } b \end{matrix} \left\{ \left[\begin{matrix} , \text{ CLW} \\ , \text{ CCLW} \end{matrix} \right] l, \text{ RANGE, } c \right\}$$

$$\text{SPINDL} / \begin{matrix} \text{ON} \\ \text{OFF} \\ \text{ORIENT } l, o \end{matrix}.$$

Подача* (FEDRAT). Запись задает значение подачи в мм/мин (MMPM, c) или в мм/об (MMPR, f) и номер диапазона подач (RANGE, k):

$$\text{FEDRAT} / \begin{matrix} \text{MMPM, } c \\ \text{MMPR, } f \end{matrix} [, \text{ RANGE, } k].$$

Быстрый ход* (RAPID). Запись определяет, что последующие перемещения производятся на быстром ходу:

RAPID.

Останов (STOP). Запись задает команду на останов работы станка и считывающего устройства:

STOP.

Дополнительный останов (OPSTOP). Запись задает команду на останов станка, действие которой может быть отменено оператором станка переключением соответствующего тумблера на пульте управления:

OPSTOP.

Условный пропуск (OPSKIP). Запись задает начало (ON) или конец участка программы (OFF), который может быть пропущен оператором станка переключением соответствующего тумблера на пульте управления:

$$\text{OPSKIP} / \begin{matrix} \text{ON} \\ \text{OFF} \end{matrix}.$$

Выдержка (DELAY). Запись задает время выстоя в с (a) или число оборотов шпинделя (REV, b):

$$\text{DELAY} / \begin{matrix} a \\ \text{REV, b.} \end{matrix}$$

Шаг (PITCH). Запись задает шаг (a) и число ниток многозаходной резьбы (MULTRD, d):

$$\text{PITCH} / a |, \text{MULTRD, d} |.$$

Связь* (COUPLE). Запись задает начало (ON) или конец (OFF) синхронизации вращения шпинделя и подачи для обработки винтовых поверхностей:

$$\text{COUPLE} / \begin{matrix} \text{ON} \\ \text{OFF} \end{matrix}.$$

Перемещение (GOTO). Запись определяет координаты x , y и z (a, b и c) точки или последовательности точек и при многокоординатной обработке — составляющие i , j и k единичных векторов оси инструмента как частный случай записи линейного перемещения:

$$\text{GOTO} / \dots \text{ } ^n[a, b, c \text{ } [, i, j, k]].$$

Окружность (CIRCLE). Запись определяет координаты x , y и z центра окружности (f, g и h), составляющие i , j и k единичного вектора ее оси, радиус (r), центральный угол в градусах со знаком «—» или «+» в соответствии с направлением движения вершины инструмента по часовой стрелке или против часовой стрелки (m) и координаты x , y и z конечной точки дуги окружности (n, o и p) как частный случай записи нелинейного перемещения:

$$\text{CIRCLE} / \dots f, g, h, i, j, k, r, m, n, o, p.$$

Многокоординатная обработка* (MULTAX). Запись задает начало (ON) или конец (OFF) участка траектории инструмента при многокоординатной обработке:

$$\text{MULTAX} / \begin{matrix} \text{ON} \\ \text{OFF} \end{matrix}.$$

Цикл (CYCLE). Запись определяет операцию, глубину прохода, подачу, «недоход» и модификатор типовой схемы обработки отверстия, а также отменяет цикл (OFF) или восстанавливает ранее отмененный цикл (ON), либо указывает, что элементы цикла предусмотрено выполнить вручную (MANUAL). Операция характеризует вид обработки: сверление в цикле типа G81 (DRILL), цекование в цикле типа G82 (FACE), глубокое сверление в цикле типа G83 с отводами сверла для ломки стружки (BRKCHP) или с полными выводами сверла из отверстия для ее удаления (DEEP), нарезание резьбы метчиком в цикле типа G84 (TAP), расточку в циклах типа G85—G89 (BORE5—BORE9) и сверление в разных стенках (THRU). Глубина прохода в мм (a) задается вдоль оси отверстия от его центра

на плоскости. Подача задается в мм/мин (MMPM, d) или в мм/об (MMPR, e). Недоход определяет расстояние в мм (f), на которое не доходит инструмент до плоскости на быстром ходу. Модификаторы задают величину дополнительного быстрого ввода инструмента в предварительно обработанное отверстие (RAPTO, g), выстой в с инструмента (DWELL, c) и останов шпинделя в фиксированном угловом положении (ORIENT, o):

CYCLE/ON
OFF
MANUAL

DRILL

FACE

TAP

CYCLE/BORE5 MMPM, d
BORE6, a, MMPR, e, f [, RAPTO, g]
BORE7 [, DWELL [, c]] [, ORIENT [, o]]
BORE8
BORE9

CYCLE/DEEP " [, " [a,] MMPM, d] [l, f], h]
BRKCHP [, MMPR, e]
[, RAPTO, g] [, DWELL [, c]]

CYCLE/THRU, "[a] MMPM, d [, f]
MMPR, e
[, RAPTO, g] [, DWELL [, c]].

Например, записи для определения типовых последовательностей ходов и технологических команд, приведенных в табл. 3 (кроме схемы 2, описание которой не предусмотрено в данной редакции промежуточного языка), могут иметь следующий вид:

№ схемы по Запись CLDATA
табл. 3

- | | |
|-----------|---|
| 1 (б, з) | CYCLE/DRILL, a, MMPR, e, f |
| 3 (з) | CYCLE/FACE, a, MMPM, d, f |
| 4 (а, м) | CYCLE/TAP, a, MMPM, d, f |
| 5 (д) | CYCLE/BRKCHR, a ₁ , a ₂ , a ₃ , a ₄ , MMPM, d, f, h |
| 6 (д) | CYCLE/DEEP, a ₁ , a ₂ , a ₃ , a ₄ , MMPM, d, f, h |
| 7 (е) | CYCLE/THRU, a ₁ , a ₂ , a ₃ , MMPR, e, f |
| 8 (н) | CYCLE/BORE5, a, MMPR, e, f |
| 9 (о) | CYCLE/BORE6, a, MMPR, e, f |
| 10 (н, о) | CYCLE/BORE7, a, MMPR, e, f |
| 11 (н, о) | CYCLE/BORE8, a, MMPR, e, f |
| 12 (н, о) | CYCLE/BORE9, a, MMPR, e, f |

Резьба (THREAD). Запись задает параметры режима нарезания резьбы резцом, определяющие подачу в мм/об (MMPR, d), число ниток многозаходной резьбы (MULTRD, e), общую глубину резьбы (DEPTH, f), общее число проходов (CUTS, g) или число проходов (*h*) с заданной глубиной резания (*l*), число зачистных проходов (FINCUT, j), угол врезания (CUTANG, k) и номера двух корректоров (OSENTO, l, m), которые включаются попеременно в каждом проходе резьбы:

$$\text{THREAD} / \left\{ [\text{MMPR}, d] [\text{MULTRD}, e] [\text{DEPTH}, f] \left[\begin{array}{l} \text{CUTS}, g, \\ \text{CUTS}, h, l, \end{array} \right] \right. \\ \left. [\text{FINCUT}, j] [\text{CUTANG}, k] [\text{OSENTO}, l, m] \right\}.$$

Возврат (GOHOME). Запись задает команду на возврат рабочих органов станка в исходное положение:

GOHOME.

Отвод (RETRCT). Запись задает команду на отвод инструмента в безопасную плоскость:

RETRCT.

Конец (END). Запись обозначает конец участка обработки:

END.

Вставка (INSERT). Запись задает вывод символов, образующих команды для ЧПУ, непосредственно на программноноситель:

INSERT/^a[символ].

Перемотка (REWIND). Запись задает команду на перемотку программноносителя до начала программы:

REWIND.

Печать постпроцессора (PPRINT). Запись задает символы для печати сопроводительной документации:

PPRINT/^a[символ].

Номер указания (CARDNO). Запись задает порядковый номер (*a*) и текст указания исходных данных, являющийся источником последующих записей:

CARDNO/*a* ^a[, символ].

Конечная запись (FINI). Запись завершает текст CLDATA:

FINI.

Записи, отмеченные звездочкой (*), являются модалными, т. е. они действуют до отмены или появления новой записи.

В соответствии с общим форматом каждая запись содержит «нулевое слово», определяющее число слов в записи, первое слово, указывающее порядковый номер записи в тексте CLDATA, и далее

последовательность логических слов, оговоренную синтаксисом данной записи.

Набор записей из базового подмножества промежуточного языка, используемый в конкретной САП, выбирают исходя из ее назначения и технических характеристик.

5.2. ПРОМЫШЛЕННЫЕ САП

К настоящему времени у нас и за рубежом разработано более ста САП, если учитывать их модификации и версии для различных ЭВМ. Здесь рассматриваются наиболее распространенные САП и те, которые оказали существенное влияние на развитие методов задания исходной информации и автоматизации решения технологических задач.

Возможности первых САП ограничивались решением геометрических задач построения траектории инструмента для изготовления деталей на станках с ЧПУ, в которых по УП отрабатывались только формообразующие движения рабочих органов.

Появление станков с автоматической сменой инструмента и программно переключаемыми частотами вращения шпинделя повысило актуальность решения в САП таких технологических задач, как проектирование инструментальной наладки и расчет режимов резания.

Расширение технологических возможностей станков до многооперационной обработки привело к созданию комплексных САП для фрезерных, сверлильных и расточных работ.

Объединение станков с ЧПУ в автоматизированные комплексы с централизованным управлением от ЭВМ потребовало разработки специализированных САП, в которых наряду с набором задач универсальных САП решаются задачи проектирования маршрута механической обработки с учетом технологических возможностей и загрузки станочного оборудования.

Развитие микроэлектроники и микропрограммирования привело к созданию малых ЭВМ, на которых стала возможной реализация САП. Размещение малых ЭВМ и других средств программирования в непосредственной близости к оборудованию с ЧПУ повысило оперативность, надежность и экономичность подготовки УП.

Прогресс в станкостроении, технологии изготовления деталей и вычислительной технике обуславливает создание новых САП и их постоянное совершенствование.

Первые поколения САП

Первые отечественные промышленные САП СППС, САП-2 и СПТС были созданы в начале 60-х годов.

СППС разработана для программирования 2 1/2-координатной обработки контуров, состоящих из отрезков прямых, дуг окружностей и участков таблично заданных кривых, а также плоскостей, которые могут включать замкнутые необрабатываемые

области [10, 14]. Входной язык СППС — табличный, геометрические и технологические данные заносятся в два бланка.

В бланк геометрических параметров по строкам для каждой опорной или вспомогательной точки записываются координаты x и y , длина L отрезка, соединяющего текущую и последующую точки, угол α наклона отрезка к оси абсцисс и угол φ между предыдущим и последующим отрезками. Опорные точки нумеруются в порядке их следования в траектории. Участки траектории вдоль дуг окружностей заменяются радиусами к опорным точкам. Центры окружностей служат вспомогательными точками и обозначаются кодами 311 или 322 в зависимости от направления обхода дуги по ходу или против хода часовой стрелки. Остальные вспомогательные

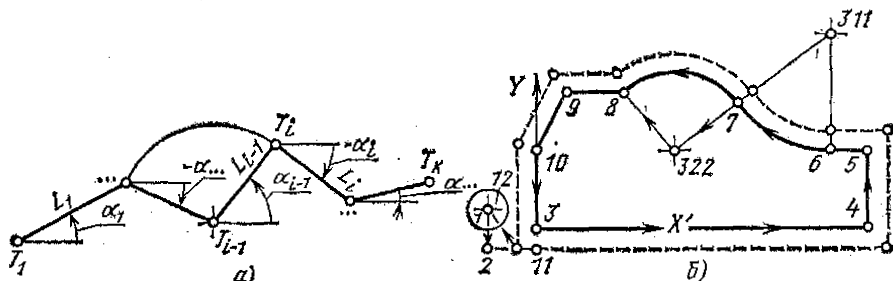


Рис. 79. Обозначение геометрических элементов для СППС

точки обозначаются кодом 300. Вместо неизвестных параметров ставятся прочерки или записываются целочисленные коды признаков с запятыми: 1—99 — признаки равенства параметров в пределах граф x , y и L , 200—299 — признаки острых и тупых углов α и φ . Значения параметров и признаки в графах X и Y записываются со знаками «+» или «-» в зависимости от квадранта, в котором расположены определяемые точки, а в графах α и φ в зависимости от угла: если угол меньше 180° , то со знаком «+», если угол от 180 до 360° , то со знаком «-». Знак «+» можно не записывать.

Принятый в СППС метод решения геометрических задач основан на том, что в пределах некоторого участка контура (рис. 79, а) неизвестные координаты точек определяются по формулам

$$x_i = x_1 + \sum_{l=1}^{i-1} L_l \cos \alpha_l;$$

$$y_i = y_1 + \sum_{l=1}^{i-1} L_l \sin \alpha_l,$$

а неизвестные значения L и α находятся решением системы уравнений

$$\sum_{l=1}^{k-1} L_l \cos \alpha_l = x_k - x_1;$$

$$\sum_{l=1}^{k-1} L_l \sin \alpha_l = y_k - y_1,$$

где $i = 1, 2, \dots, k$ — порядковый номер точки рассматриваемого участка контура; L_i — длина отрезка, соединяющего i -ю и $i + 1$ -ю точки.

Решение этих геометрических задач возможно при условии, что заданных параметров достаточно для графического построения данного участка контура.

В бланке технологических параметров указываются общие сведения о станке с ЧПУ, инструменте и режимах обработки, перемещения по оси Z на заданных участках траектории и другие данные, а также коды специальных режимов работы СППС.

Т а б л и ц а 25

Пример записи на входном языке СППС геометрических параметров траектории фрезы при обработке наружного контура детали (см. рис. 32 и 79, б) приведен в табл. 25.

В таблице технологических параметров для этой траектории указывается, что в точке 1 $D_\phi = 0$, после точки 2 $D_\phi = -20$ мм (знак «—» означает, что фреза находится справа от контура), после точки 11 $D_\phi = 0$.

В СППС предусмотрено задание трансформации системы координат, что обеспечивает лаконичность описания симметричных контуров и возможность выдачи УП для обработки заготовки, закреп-

ленной на станке и ориентированной в любом положении. Легкость обучения работе с системой, лаконичность записи исходной информации, компактность ПМО, небольшая продолжительность расчета УП на ЭВМ, а также наличие постпроцессоров для серийных фрезерных и электроэрозионных станков с ЧПУ, обусловили широкое промышленное применение СППС.

САП-2 предназначена для программирования обработки контуров в плоскостях, параллельных координатным плоскостям, причем возможны переход из одной плоскости в другую и позиционирование по третьей координате, перпендикулярной к плоскости обработки [5,21]. Исходная информация для САП-2 записывается в терминах, представляющих собой сокращения слов русского языка. Она состоит из «строки обхода», содержащей информацию о траектории инструмента, и группы обозначений элементов, упомянутых в строке обхода. Группа обозначений делится на две части — сложные и элементарные обозначения. Сложные обозначения применяются для геометрических определений точек, прямых и окружностей. Элементарные обозначения служат для задания числовой информации. Пример записи исходной информации на языке САП-2 приведен для

№ стро- ки	№ точки	X	Y	L	α	φ
1	1	-25	10	,	—	—
2	2	-25	-10	,	—	—
3	3	0	0	,	—	—
4	4	170	0	,	—	—
5	5	170	40	,	—	—
6	6	1	40	60	—	—
7	311	—	—	60	—	-300,
8	7	—	—	40	—	0
9	322	70	40	40	—	—
10	8	—	—	—	180	—
11	9	2	70	—	—	63,5
12	10	0	40	,	—	—
13	11	0	-10	,	—	—
14	12	-25	10	,	„	—

программирования обработки наружного контура детали (см. рис. 32 и 80):

ЦИ01, δ01, ФР0, S_y00, ОТ ТК01, — Z00, ДО ТК02, S_p00, ФР+, r01,
ПО ПРО6, ПО ПРО5, ПО ПРО4, ПО—КР02, ПО+КР01, МХ ТК, ПО ПРО3,
ПО ПРО2, ПО ПРО1, ДО ТК05, S_y00, ФР0, +Z00, ДО ТК01, КОНЕЦ, 3/

ТК01/=X01/Y01

ТК02/=X01/Y02/

ТК03/=X00/Y03/

ТК04/=X02/Y03/

ТК05/=X00/Y02/

ПРО1/=X00/

ПРО2/=ТК03/Y03/

ПРО3/=Y04/

ПРО4/=Y03/

ПРО5/=X03/

ПРО6/=Y00/

КР01/=ТК04/R01

КР02/=БУ ПРО4/ВХ + КР01/R02/

X00/=0000000/

X01/=—0250000/

X02/=0700000/

X03/=1700000/

Y00/=0000000/

Y01/=0100000/

Y02/=—0100000/

Y03/=0400000/

Y04/=0700000/

K01/=4986000/

R01/=0400000/

R02/=0600000/

Z00/=0560000/

S_y00/=0010000/

S_p00/=0002000/

r01/=0100000/

δ01/=0000050/

ЦИ01/=0000010/

КОНЕЦ.

«Строка обхода» представляет собой последовательность указаний, записываемых в порядке их выполнения. В данном примере она начинается с задания цены импульса и допуска на аппроксимацию дуг окружностей. Далее

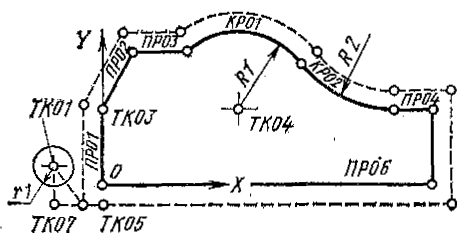


Рис. 80. Обозначение геометрических элементов для САП-2

указывается положение центра фрезы в точке 01, откуда начинается ее движение на быстром ходу в точку 02 с одновременным опусканием по оси Z. Последующие перемещения фрезы производятся на рабочей подаче справа от контура на расстоянии радиуса фрезы вдоль прямых 06, 05, 04, окружностей 02, 01, прямых 03,

02 и 01 до точки 05, откуда на быстром ходу с одновременным поднятием фрезы по оси Z ее центр приводится в исходную точку 01. Дугу окружности 02 фреза обходит по часовой стрелке, а дугу окружности 01 — против часовой стрелки, что определяется знаками «+» и «—». При обходе окружности 01 до прямой 03 двойственность решения исключается указанием меньшего значения x точки пересечения этих элементов. Числовая информация элементарных обозначений записывается в виде семиразрядных чисел, причем расположение десятичной запятой определяется масштабом в конце «строки обхода». В данном случае запятая подразумевается после третьего разряда числа.

Структура САП-2 блочная. Постоянно пополняемый ряд блоков выполняет функции постпроцессоров для различных УЧПУ. САП-2

не имеет явной технологической специфики, и с ее помощью можно рассчитывать УП для фрезерных, электроэрозионных, токарных и других станков с ЧПУ.

На базе САП-2 разработано семейство САП-3, САП-4 и САП-5 для программирования трех-, четырех- и пятикоординатной фрезерной обработки [9].

САП-3 позволяет программировать изготовление деталей, образованных плоскостями, цилиндрами, конусами, сферами и другими поверхностями второго порядка, а также торами. САП-3 может работать в режимах подробного описания траектории инструмента и задания типовых технологических схем обработки областей. В последнем случае достаточно описать поверхность с границами ее обработки и задать типовую схему.

САП-4 является модификацией САП-2 для программирования изготовления деталей на четырехкоординатных фрезерных станках, у которых помимо трех линейных координат имеется четвертая круговая координата для непрерывного управления поворотным столом. В САП-4 могут быть запрограммированы одновременные перемещения по двум из трех линейных координат XY , YZ или ZX , перемещения по круговой координате A программируются при остальных неподвижных координатах. Входной язык САП-4 предусматривает упрощенное описание контуров с элементами центральной симметрии.

САП-5 является модификацией САП-3 для программирования многокоординатной фрезерной обработки с возможностью изменения направления оси инструмента. Такая обработка ведется на пятикоординатных фрезерных станках с тремя линейными и двумя круговыми координатами. В САП-5 реализуются указания об обработке с неизменной ориентацией оси инструмента, с плавным переходом от одной ориентации оси к другой, с ориентацией оси по нормали к обрабатываемой поверхности, а также с формированием направляющей линейчатой поверхности боковой поверхностью инструмента.

САПС построена на основе входного языка АРТ и алгоритмического языка Алгол-60 для программирования 2 1/2-координатной обработки [14]. Представление о входном языке САПС может дать приведенный ниже пример описания фрезерной обработки наружного контура детали (см. рис. 32 и 81):

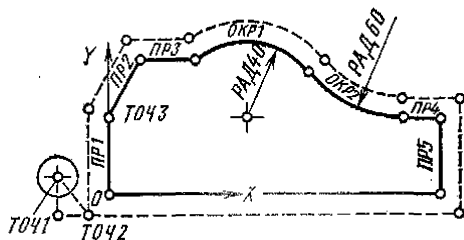


Рис. 81. Обозначение геометрических элементов для САПС

```
01 ПРОГРАММА ПРИМЕР НА ЯЗЫКЕ САПС;
02 ДЕТАЛЬ КРЫШКА;
03 * * СОСТАВИЛ ПЕТРОВ;
04 ТОЧ1: -12.5, 10, 40; ТОЧ2: -12.5, -10, -16;
```


05 ПР1: $-1, 0, 0$; Т0Ч3: $0, 40$; ПР6: $0, 1, 0$;
 06 ПР2: ЧЕРЕЗ, Т0Ч3, УГ, $63 + 30/60$, К, ПР6;
 07 ПР3: $0, 1, 70$; ПР4: $0, 1, 40$;
 08 ОКР1: $70, 40, 40$;
 09 ОКР2: КАС, ПР4, ОКР1, РАД, 60 , УБ, НАР, ХБ;
 10 ПР5: ПРЛ, ПР1, РАСТ, 170 , ХБ;
 11 СТАНОК/7; ИНТЕРП/3; ФРЕЗА/20, 0;
 12 ПОДАЧА/1000; ИЗ/Т0Ч1; ИДИ/Т0Ч2;
 13 ПОДАЧА/200; ФРСР; Д0П/0.02, 0.02;
 14 ИДИ/ПР6, ПР5, ПР4, НА ОКР2;
 15 ИДИ/ОКР2, П0ЧС, ОКР1, ПРЧС, Д0, ПРС2, ПР3;
 16 ИДИ/ПР3, ПР2, ПР1, ЗА, ПР6;
 17 ПОДАЧА/1000; ИДИ/Т0Ч1;
 18 КОНЕЦ;

Элементами языка САПС являются операторы. Их содержание в приведенном примере описано по строкам: 01 — начало исходных данных и наименование УП, записанное после слова ПРОГРАММА; 02 — название и другие данные, например номер чертежа, записываемые после слова ДЕТАЛЬ; 03 — знаками «*» обозначено начало текста комментария, в котором могут быть использованы любые символы, кроме точки с запятой; 04 — содержит два оператора, определяющие точки ТОЧ1 и ТОЧ2 координатами x, y и z ; 05 — содержит три оператора, первый и последний из которых определяют прямые ПР1 и ПР6 коэффициентами $\cos \alpha, \sin \alpha$ и p нормального уравнения прямой, а второй — ТОЧ2 координатами x и y ; 06 — прямая ПР2 проходит через точку ТОЧ3 под углом $63,5^\circ$ к оси абсцисс; 07 — прямые ПР3 и ПР4 заданы коэффициентами нормального уравнения прямой; 08 — окружность ОКР1 задана координатами $x_{\text{ц}}$ и $y_{\text{ц}}$ центра и радиусом; 09 — окружность ОКР2 определена как касательная к прямой ПР4 и окружности ОКР1 с заданным радиусом и признаками У больше, наружная и Х больше, исключающими многозначность решения; 10 — прямая ПР5 определена как параллельная прямой ПР1 на расстоянии 170 мм, Х больше, что исключает двойственность решения; 11 — содержит три оператора, задающие станок с ЧПУ для выбора требуемого постпроцессора и параметры фрезы — диаметр и радиус закругления торца; 12 — задается значение подачи (быстрого хода) и указание о перемещении фрезы из точки ТОЧ1 в точку ТОЧ2; 13 — тремя операторами соответственно задаются значения рабочей подачи, указание о расположении фрезы справа от контура и поле допуска при аппроксимации дуг окружностей; 14 — указание о перемещении фрезы вдоль прямых ПР6, ПР5 и ПР4 до точки сопряжения последней прямой с окружностью ОКР2; 15 — указание о перемещении фрезы вдоль окружности ОКР2 по часовой стрелке и окружности ОКР1 против часовой стрелки до ее второго пересечения с прямой ПР3; 16 — указание о перемещении фрезы вдоль прямых ПР3, ПР2 и ПР1 за прямую ПР6; 17 — задается значение подачи быстрого хода и указание о перемещении центра фрезы в начальную точку траектории — точку ТОЧ1; 18 —

конец исходных данных. Буквы О, Ч и З в тексте исходных данных пишутся с чертой над ними, чтобы не путать их при перфорации с цифрами 0, 4 и 3.

К достоинствам САПС следует отнести разветвленную диагностику исходных данных, сведения об ошибках, которых выводятся на печать вместе с указанием способа их устранения. Последующее развитие САПС привело к созданию ее современных редакций АПТ-ЕС и АПТ-СМ, ориентированных на ЕС ЭВМ и малые ЭВМ серии СМ.

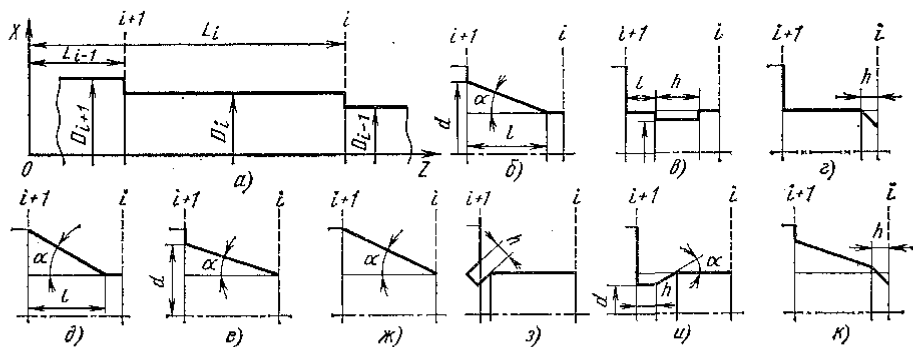


Рис. 82. Комплексные геометрические элементы контура вала

СПТС — первая САП высокого уровня для подготовки на ЭВМ УП изготовления деталей класса валов на токарных станках [8].

Геометрические определения элементов детали записываются в табличном бланке, учитывающем особенности конфигурации валов. Участки контура вала описываются в виде комплексных геометрических элементов, показанных на рис. 82. Каждый из этих элементов определяет состав участка контура, ограниченного опорными линиями, относительно которых на чертеже проставлены линейные размеры ступеней вала. Участок контура между i -й и $i + 1$ -й опорными линиями может содержать проекцию цилиндрической поверхности (рис. 82, а), проекцию конической поверхности (рис. 82, б, д, е, ж, к), канавку (рис. 82, в, з, и) и фаску (рис. 82, г, к). Пример записи геометрических определений вала (см. рис. 35 и 83) приведен в табл. 26.

В каждой строке этой таблицы записаны данные для одной ступени вала: номер строки (N), совпадающий с номером опорной линии определяемой ступени; номер опорной линии, относительно которой на чертеже задан линейный размер, и сам размер (L); диаметр ступени вала (D); параметры конуса (К) — длина l , наибольший диаметр d и угол α ; параметры протачивания (П) — расстояние l от торца, диаметр d , ширина h и угол α канавки; ширина h

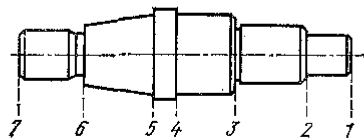


Рис. 83. Ограничение комплексных элементов опорными линиями

N	L		D	K (l/d/α)	H (l/d/h/α)	Φ	R		
1	7	210	23	—	—	1	20	—	—
2	1	30	38	—	/37,5/3/	1	2,5	—	—
3	1	75,7	50	—	—	1	—	—	—
4	1	110	—	—	—	—	40	40	40
5	7	85	54	—	—	—	—	—	—
6	7	40	40	//K (1 : 5)	—	—	—	2,5	—
7	—	—	M30×1,5	—	/27,8/4/30Г	2	—	—	—

фаски (Φ); параметры шероховатости (R) цилиндрической, торцевой и конической поверхностей данной ступени вала. Линейные и диаметральные размеры записываются с отклонениями или обозначениями посадок и квалитетов, что позволяет свести запись геометрической информации к простому переносу данных с чертежа в бланк

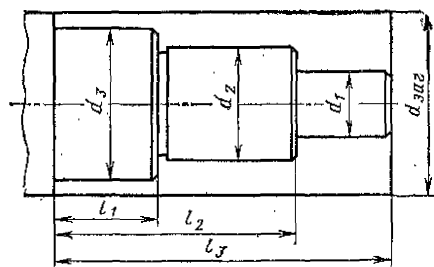
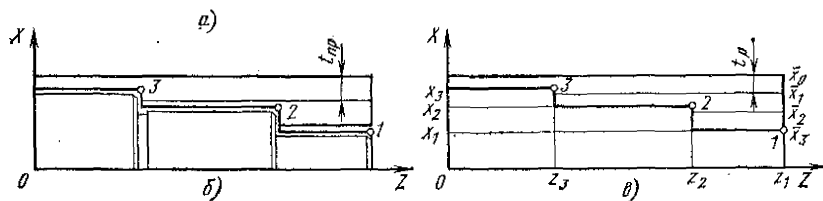


Рис. 84. Формирование зоны выборки и разделение ее уровнями



таблицы и сохранить связи размерных цепей, необходимые для определения настроечных размеров при последующем расчете координат опорных точек контура детали.

Разделение обрабатываемого участка заготовки на переходы и выбор траектории инструмента в СПТС осуществляется на ЭВМ. Определение последовательности проходов и расчет режимов резания ведутся с оптимизацией [6]. Реализованные в СПТС алгоритмы решения геометрических задач поясняются следующим примером.

Рассматривая вал совместно с заготовкой (рис. 84, а) в системе координат детали ZOX (рис. 84, б), можно определить границу черновой зоны выборки. Эта граница состоит из чернового контура детали, образованного с учетом припусков на цилиндрические и торцевые поверхности вала для окончательных операций и контура заготовки. Черновой контур детали состоит из проекций образу-

ющих цилиндрических поверхностей — горизонталей и из проекций торцовых плоскостей — вертикалей. Расстояния горизонталей от оси аппликата и вертикалей от оси абсцисс однозначно определяются координатами точек пересечения горизонталей с прилежащими вертикалями, что позволяет определить черновой контур детали координатами крайних справа опорных точек горизонталей. Аналогично определяется и контур заготовки. В рассматриваемом случае вал изготавливается из предварительно заторцованной цилиндрической заготовки, для задания которой достаточно указать абсциссу $\bar{x}_0$ (рис. 84, в).

Для определения проходов черновая зона выборки разбивается горизонтальными прямыми — уровнями. Отрезки уровней, заключенные между контуром заготовки и черновым контуром детали, являются участками траектории резца при черновой обработке. Разбивка на уровни ведется в следующей последовательности: а) вычисляются припуски на черновую обработку для каждой цилиндрической поверхности, которые равны разности между абсциссами заготовки и горизонталей; б) определяется наименьшее число черновых проходов для обработки каждой цилиндрической поверхности делением ранее вычисленных припусков на предельную глубину резания $t_{пр}$ с последующим округлением полученных чисел до большего целого; в) вычисляются глубины черновых проходов в предположении, что припуск над каждой цилиндрической поверхностью разбит равномерно на определенное в п. б число проходов; г) наибольшая среди определенных в п. в глубин резания принимается единой для всей зоны выборки; последовательным вычитанием этой величины t_p из абсциссы заготовки $\bar{x}_0$ определяются абсциссы уровней; величина t_p , вычисленная по этому алгоритму, делит черновой припуск на проходы более равномерно, чем $t_{пр}$ (см. рис. 84, б и в).

Вертикали и их продолжение совместно с горизонталями и уровнями ограничивают элементарные обрабатываемые участки заготовки — области. Подбор областей для составления проходов черновой обработки можно осуществить тремя вариантами (рис. 85):

1) «по циклам уровней», последовательно сверху вниз, подбирая в пределах уровня все области; траектория резца пройдет через точки 0, 4, 5, 3, 6, 7, 8, 9, 10, 2, 11, 12, 13, 1, 14, 0 (рис. 85, а);

2) «по циклам горизонталей»; отличие от первого варианта заключается в том, что сначала в проходы объединяются области, нижняя граница которых не совпадает с горизонталями, а затем подбираются области, примыкающие к черновому контуру детали; траектория резца при обработке того же участка заготовки пройдет через точки 0, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 1, 12, 2, 13, 3, 14, 0 (рис. 85, б);

3) «по циклам вертикалей», т. е. по столбцам, причем каждая область обрабатывается отдельным проходом; траектория резца в этом случае пройдет через точки 0, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 1, 12, 5, 13, 14, 6, 2, 15, 3, 16, 0 (рис. 85, в).

Выбрать один из рассмотренных вариантов в качестве алгоритма построения траектории инструмента при черновой обработке можно

на основе анализа общей структуры чернового контура с произвольным расположением горизонталей относительно уровней (рис. 86, а). Построив вспомогательные контуры с однородными структурами

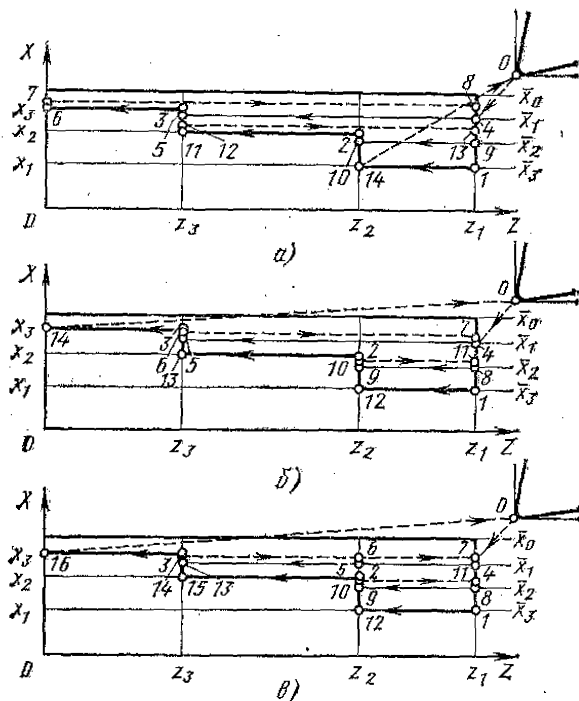


Рис. 85. Варианты подбора областей для проходов

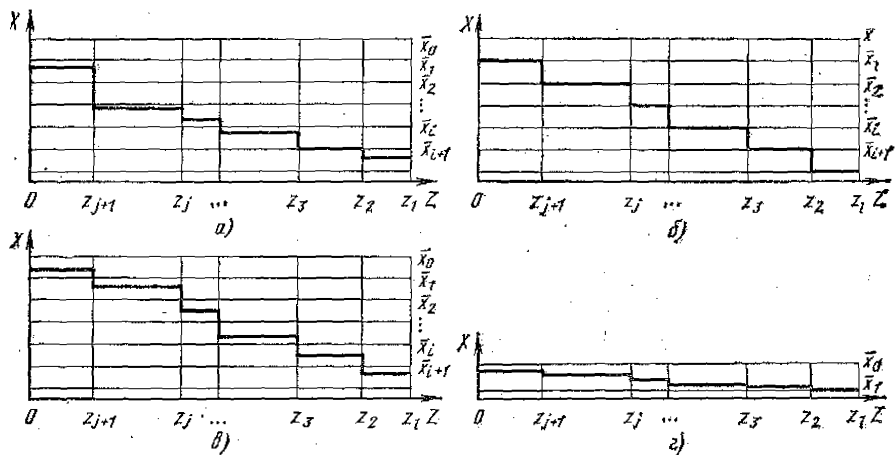


Рис. 86. Общая и однородные структуры чернового контура

(рис. 86, б, в, г), можно записать для них выражения, определяющие длины траекторий инструмента в соответствии с 1, 2 и 3-м вариантами подбора областей.

Для структуры чернового контура, когда все горизонталы совпадают с уровнями (рис. 86, б),

$$L_{1б} = L_{2б} = \left[\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^i l_j \right]_{p. x} + \left[\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^i l_j + 2mt_p + 2(m-1)v \right]_{б. x};$$

$$L_{3б} = \left[\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^i l_j \right]_{p. x} + \left[\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^i l_j + (m^2 - m + 2)t_p + m(m-1)v \right]_{б. x},$$

где $i = 1, 2, \dots, k$ — номера уровней; $j = 1, 2, \dots, m$ — номера горизонталей; l_j — длина j -й горизонтали; t_j — глубина резания при обработке области над j -й горизонталью; v — расстояние, на которое отводится инструмент от обработанной поверхности; $[l]_p$ и $[l]_{б. x}$ — участки траектории инструмента соответственно на рабочем и быстром ходах. Индексы 1, 2 и 3 при длинах траекторий означают номера вариантов подбора областей, а буквы б, в и г в индексах соответствуют обозначениям однородных структур на рис. 86.

Для структуры чернового контура, когда все горизонталы находятся между уровнями (рис. 86, в),

$$L_{1в} = \left[\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^i l_j \right]_{p. x} + \left[\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^i l_j + 4(m-1)t_p + 4t_1 - \right.$$

$$\left. - 2 \sum_{j=1}^m t_j + 2(m-1)v \right]_{б. x};$$

$$L_{2в} = \left[\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^i l_j \right]_{p. x} +$$

$$+ \left[\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^i l_j + 2(m-1)t_p + 3t_1 - t_m + 2(m-1)v \right]_{б. x};$$

$$L_{3в} = \left[\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^i l_j \right]_{p. x} + \left[\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^i l_j + (m^2 - 3m - 4)t_p + \right.$$

$$\left. + 2 \sum_{j=1}^m t_j + t_1 + 3t_m + m(m-1)v \right]_{б. x}.$$

Для структуры чернового контура, когда все горизонталы лежат между двумя соседними уровнями (рис. 86, г),

$$L_{1г} = L_{2г} = L_{3г} = \left[\sum_{j=1}^m l_j \right]_{p. x} + \left[\sum_{j=1}^m l_j + 2t_1 \right]_{б. x}.$$

Сравнение траекторий для обработки зон выборки с однородными структурами чернового контура показывает, что от варианта подбора областей зависят только длины участков вспомогательных ходов.

Для структуры, когда все горизонталы совпадают с уровнями, 1-й и 2-й варианты подбора областей равноценны и лучше, чем 3-й вариант:

$$L_{3б} - L_{2б} = 4(m-1)(m-2)(t_p - v)_{б. x} \geq 0.$$

Для структуры, когда горизонтالي не совпадают с уровнями, лучшим является 2-й вариант:

$$L_{1в} - L_{2в} = \left[2(m-1)t_p - 2 \sum_{j=1}^m t_j + t_1 + t_m \right]_{с. х} \geq 0.$$

Для структуры, когда все горизонтали расположены между двумя соседними уровнями, все варианты равноценны.

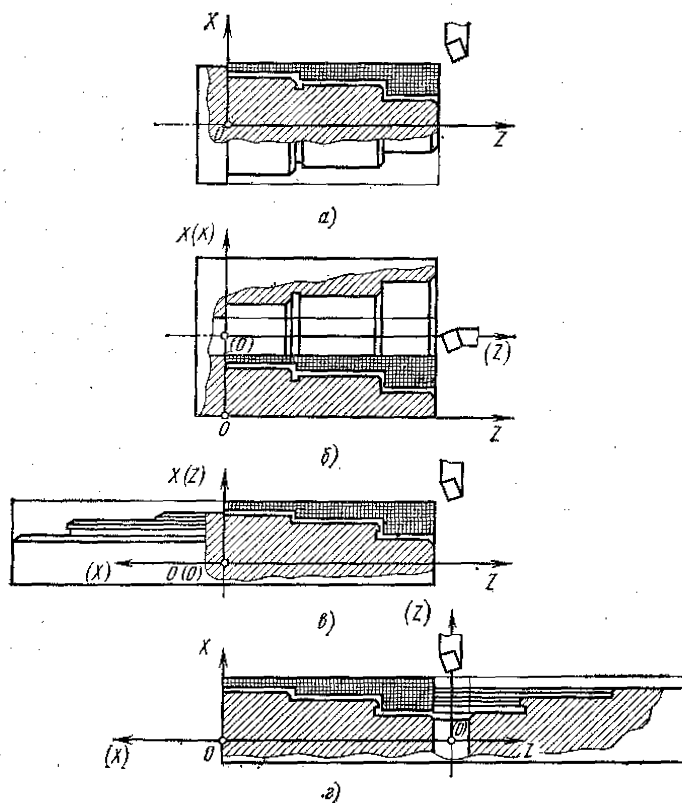


Рис. 87. Общность формирования зон выборки различных деталей

Таким образом, при выборе общего варианта для всех однородных структур лучшим является 2-й вариант подбора областей. Так как зона выборки с общей структурой черного контура состоит из участков с однородными структурами, можно сделать вывод, что 2-й вариант подбора областей является лучшим и для общей структуры. Поэтому алгоритм определения последовательности проходов, в основу которого положен вариант подбора областей по циклам горизонталей, является оптимальным, минимизирующим траекторию инструмента при черновой обработке.

Зоны выборки других классов ступенчатых деталей, например втулок (рис. 87, б), дисков (рис. 87, в) и крышек (рис. 87, г), при-

водятся к рассмотренной для вала конфигурации зоны выборки в системе координат XZ (рис. 87, *а*) преобразованием систем координат, обозначения осей которых на рис. 87 даны в круглых скобках.

Описанный принцип подбора областей для составления проходов черновой обработки можно обобщить и на случай обработки ступенчатой заготовки. Несложное геометрическое преобразование позволяет представить зону черновой обработки ступенчатой заготовки отдельными участками, каждый из которых ограничен контуром одной ступени заготовки. На рис. 88, *а* показаны разделение обрабатываемой части ступенчатой заготовки на участки *I* и *II*, на рис. 88, *б* — деление этих участков уровнями, на рис. 88, *в* — траектория инструмента через точки 0, 4, 5, 6, 7, 1, 8, 2, 9, 10, 11, 3, 12, 9, 13, 3, 14, 0, которая построена по оптимизирующему алгоритму.

Реализованные в СПТС методы решения технологических задач были развиты и обобщены при разработке универсальной САП СПС-Т для программирования изготовления широкого круга деталей на различных станках с ЧПУ токарной группы.

СПС-Т предназначена для программирования изготовления в первую очередь деталей с криволинейным профилем. Базовым для нее является средний уровень автоматизации, реализующий обобщенные технологические схемы обработки и расчет на ЭВМ режимов резания [7].

Входной язык СПС-Т содержит более 250 слов. Около половины понятий языка записывается аббревиатурами, которые могут быть изменены с помощью специальной анкеты обозначений, что дает возможность не только сохранить для различных потребителей привычную им форму обозначений понятий, но и перейти с русского на любой другой язык, символы которого предусмотрены международным телеграфным кодом. Постоянная информация о станках с ЧПУ и инструментах подготавливается в анкетной форме и после переработки ее блоком «Сервис» системы хранится в долговременной памяти ЭВМ, откуда вызывается по указанным в тексте исходной информации наименованиям станков и кодам отдельных инструментов или инструментальной наладки. Текст исходной информации записывается в упорядоченной словарной форме на четырех бланках, разграфленных в соответствии с принятой структурой

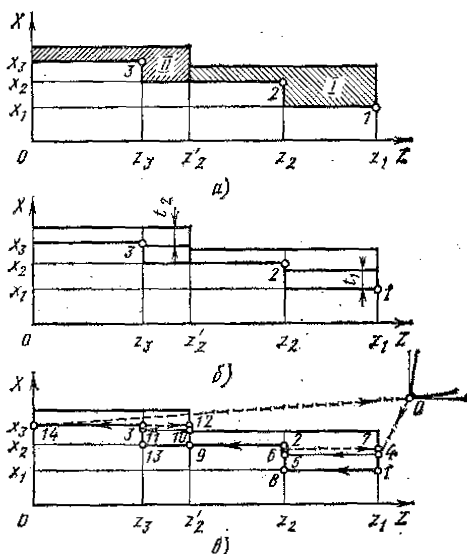


Рис. 88. Траектория реза для обработки ступенчатой заготовки

фрагменты отдельных глав данных: 1 — общие данные, 2 — зоны и схемы их обработки, 3 — геометрические элементы, 4 — состав УП. Принцип записи исходной информации на входном языке СПС-Т пояснен на примере программирования токарной операции изготовления детали «штамп» (рис. 89).

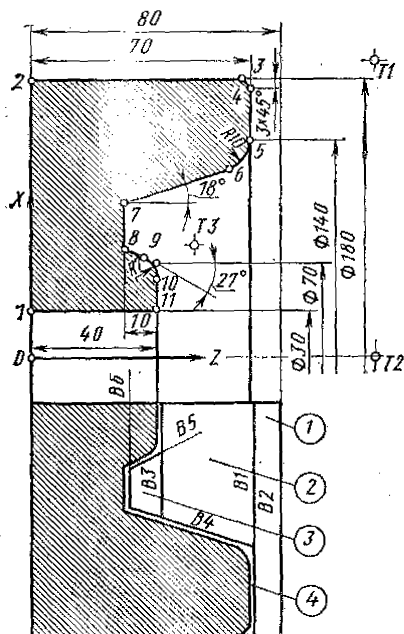


Рис. 89. Деталь «штамп» с обозначением геометрических элементов

В первом бланке записывают: наименование детали — ШТАМП, номер чертежа — КШ-1011; материал заготовки — 5ХНВ; модель станка — 16К20Ф3; тип УЧПУ — НЗ31; инструментальная наладка — Н-3. Дополнительно в этом бланке могут быть указаны: число деталей в партии, критерий расчета режимов резания, заказчик, дата и исполнитель. В правой части бланка имеется свободное поле для комментария технолога-программиста.

Запись во втором бланке показана в табл. 27.

В этом бланке записывают группы понятий, которые определяют контур зоны, схему обработки, инструмент и режимы резания. Первая группа понятий содержит номер зоны и перечень маркеров геометрических элементов ее контура. В группу понятий, определяющих схему обработки, входят тип зоны, технологическая схема и направление. Типы зон выборки и схемы их обработки приведены

на рис. 13. Направление проходов для этих зон задается углом или маркером прямой со знаком, параллельно которой выбрано это направление (знак «+» соответствует углу $0 \leq \alpha < 180^\circ$, а знак «-» — $180^\circ \leq \alpha < 360^\circ$). При описании контурной зоны задается характер ее обработки (грубая, черновая, получистовая или чистовая) и расположение инструмента (слева или справа) относительно направления описания контура. Режущий инструмент задается

Таблица 27

№	Контур зоны	Схема обработки			№ поз. инструмента	Режимы резания		
		тип зоны	схема	направление		t	v	s
1	(B1) 2, B2, 11	ОТКРЫТ	ПЕТЛЯ	-ОХ	1	5	—	—
2	(B4, B3) 11, B1	ПОЛУОТ	ПЕТЛЯ	ОХ	2	4	—	—
3	(B5, B6, B4) B3	ЗАКРЫТ	ЗИГЗАГ	-ОХ	3	2	100	0,25
4	2 (3-10) 11	КОНТ	ЧИСТ	СЛ	4	1,5	250/ОБ	0,15

номером его позиции в поворотном резцедержателе или магазине. Группа понятий, определяющих режимы резания, включает предельную глубину резания $t_{пр}$ в мм для зон выборки или припуск l в мм на обработку контурной зоны, скорость резания v в м/мин, частоту вращения шпинделя в об/мин и подачу s в мм/об или мм/мин. Расчет не заданных параметров режимов резания возлагается на ЭВМ. В приведенном примере скорость резания для зоны 3 задана в мм/мин, а для зоны 4 — частотой вращения шпинделя.

В третьем бланке записывают параметры и построительные определения геометрических элементов (табл. 28).

Таблица 28

№ по пор.	Элемент			Z	X	α	L, R	∇
1	1	П	ВЕРТ	0				
2	2	П	ГОРИЗ		Д180			
3	3	П	ФАСКА=3					
4	4	П	ВЕРТ	70				
5	5	—К	ЦЕНТР	(4) — 10	Д140		10	
6	6	П	КАСАТ (5)		М	18Г		
7	7	П	ВЕРТ	(10) — 10				
8	8	П	ЧЕРЕЗ	40	Д170	—27Г		
9	9	—К	СКРУГ=7					
10	10	П	ВЕРТ	40				
11	11	П	ГОРИЗ		Д30			
12	B1	П	ВЕРТ	(4) + 1,5				
13	B2	П	ВЕРТ	80				
14	B3	П	ВЕРТ	(10) + 1,5				
15	B4	П	ПАРАЛ (6)		М		1,5	
16	B5	П	ПАРАЛ (8)		Б		1,5	
17	B6	П	ВЕРТ	(7) + 1,5				
18	T1			110	95			
19	T2			110	0			
20	T3			50	35			

Геометрические элементы делятся на основные и вспомогательные. Основные элементы принадлежат контуру детали. Они могут характеризоваться квалитетами и параметрами шероховатости поверхностей детали, проекциями которых они являются. Вспомогательные элементы служат для определения основных элементов и используются при формировании контуров зон и траектории инструмента. В СПС-Т введено также понятие линии, состоящей из последовательности элементов или полученной путем преобразования другой линии поворотом, смещением, зеркальным отображением или построением эквидистанты. Каждому геометрическому элементу присваивается маркер. Маркерами основных элементов служат номера опорных точек на контуре детали. Вспомогательные элементы имеют буквенное обозначение (В) и произвольные номера. При записи параметров геометрических элементов используются ссылки на аналогичные параметры других элементов, относительно которых

проставлены размеры на чертеже. Например, в 5-й строке координата z центра окружности 5 задана относительно опорной точки элемента 4 , указанного в круглых скобках. Размеры с обозначениями квалитетов или с отклонениями переносятся в бланк в том же виде, как они указаны на чертеже. В графе ∇ записываются параметры шероховатости поверхностей.

В четвертом бланке в последовательности, определяющей состав УП, указываются зоны обработки, отдельные перемещения и технологические команды (табл. 29).

Т а б л и ц а 29

№ по пор.	Указание		№ по пор.	Указание	
1	ШПИНД	ВКЛ	10	СМЕНА	3/3
2	ОХЛ	ВКЛ	11	ЗОНА	3
3	СМЕНА	1/1	12	ОТВОД	T1
4	НАЧАЛО	T1	13	ОТВОД	T3
5	ЗОНА	1	14	СМЕНА	4/4
6	ОТВОД	T2	15	ЗОНА	4
7	СМЕНА	2/2	16	ОТВОД	T1
8	ЗОНА	2	17	ОХЛ	ВЫКЛ
9	ОТВОД	T2	18	ШПИНД	ВЫКЛ

Опорные точки траектории инструмента указываются маркерами, определенными во втором бланке. К маркеру точки могут быть добавлены буквенные признаки, поясняющие, в какой из систем координат она определена (С — в системе координат станка, без признака — в системе координат детали) и какую из точек следует с ней совместить (Ц — центр закругления при вершине резца, без признака — вершину инструмента).

Для СПС-Т разработан алгоритм формирования траектории инструмента при обработке контурных зон, позволяющий обнаруживать и обходить участки, которые невозможно обработать заданным инструментом. Такими участками могут быть, например, глубокие канавки или вогнутые скругления радиусом, меньшим радиуса закругления при вершине резца. Этот алгоритм предусматривает четыре этапа построения требуемой траектории инструмента.

На первом этапе для каждого из элементов контура строятся эквидистантные участки, являющиеся геометрическими местами точек, отстоящих от отрезков прямых и дуг окружностей контура по нормальям на величину R_n . При этом участки эквидистанты к сопряженным элементам контура также будут сопряжены. На втором этапе участки эквидистанты к несопряженным элементам контура соединяются дугами окружностей радиусом R_n с центрами в общих точках несопряженных элементов контура. На третьем этапе для более технологичного обхода режущим инструментом опорных точек элементов контура сопрягающие дуги окружностей заменяются касательными к ним отрезками прямых.

На рис. 90 иллюстрируется принцип соединения участков эквидистанты к несопряженным элементам контура «прямая—прямая» (рис. 90, а, б), «прямая—окружность» (рис. 90, в, г) и «окружность—окружность» (рис. 90, д, е). Левые эквидистанты к этим участкам контуров проходят через точки $1_1, 2_1^1, 2_1^2, 2_1^3, 3_1$ (рис. 90, а, в, г) и $1_1, 2_1^1, 2_1^2, 2_1^3, 3_1$ (рис. 90, б, г, е), а правые эквидистанты проходят через точки $1_2, 2_2^1, 2_2^2, 2_2^3, 3_2$.

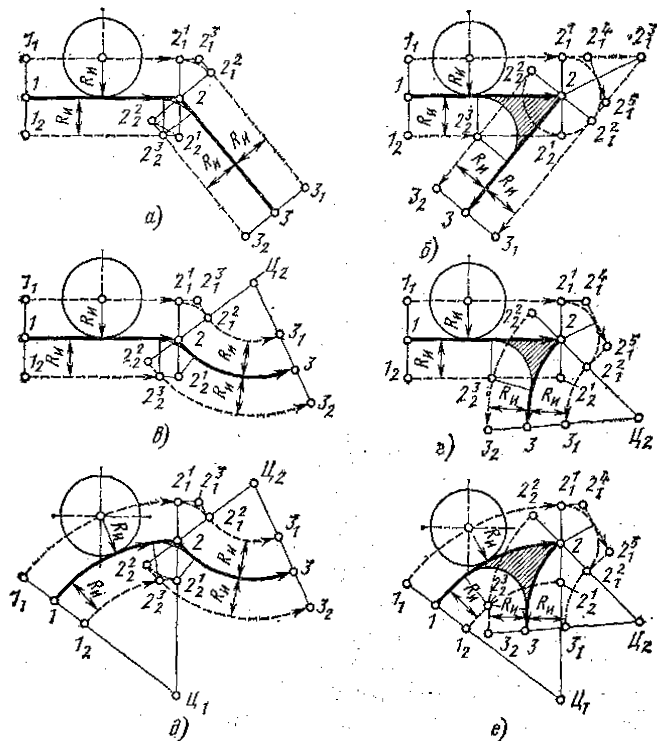


Рис. 90. Участки эквидистанты

На четвертом, заключительном этапе эквидистанта анализируется на самопересечение. Обнаруженные узлы свидетельствуют о том, что эквидистанта содержит замкнутые участки — петли, двигаясь по которым, инструмент пересекает обрабатываемый контур. Эти петли исключаются из состава траектории инструмента. На рис. 90 петли образуют участки эквидистанты $2_2^3-2_1^2-2_2^2-2_2^3$, после исключения которых инструмент, двигаясь по траектории $1_1^1-2_2^2-3_2$, оставит необработанными заштрихованные области. В общем случае узловые точки ограничивают замкнутые участки эквидистанты как к частям отдельных элементов контура, так и к одному или группе элементов. На рис. 91 изображен контур, левая эквидистанта к которому образует узлы в точках $3_2^4, 4_2^2$ и 8_2^3 , а окончательно сформированная траектория инструмента для обработки этого контура проходит через точки $1_2^1, 3_2^4, 3_2^3, 4_2^1, 4_2^2, 6_2^4, 6_2^3, 6_2^2, 6_2^1, 8_2^3, 9_2^1$.

При этом элементы 1, 4, 6 и 8 частично, а элементы 2, 5 и 7 полностью недоступны для обработки инструментом с радиусом закругления R_H .

Метод расчета режимов резания на ЭВМ, разработанный для СПС-Т, учитывает условия обработки на каждом проходе и позволяет находить оптимальное решение [7]. В качестве критерия оптимальности приняты наименьшая себестоимость операции или наибольшая ее производительность. Критерий оптимальности формулируется в виде целевой функции, связывающей условия обработки и параметры режимов резания. Целевой функцией для критерия

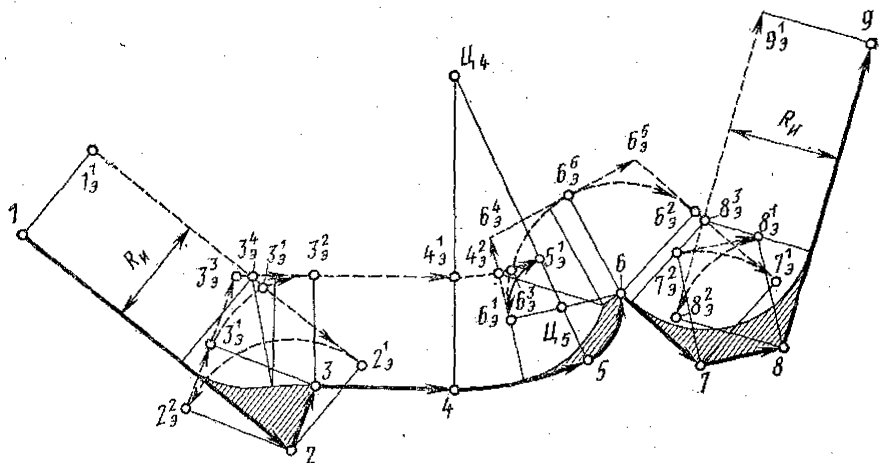


Рис. 91. Схема формирования прохода вдоль контура

наименьшей себестоимости операции служит переменная доля себестоимости прохода θ , зависящая от режимов резания:

$$\theta = E_p \tau_p + E_n \frac{\tau_p}{T},$$

где τ_p — время резания; E_p — стоимость минуты работы станка; E_n — затраты на инструмент за период его стойкости T с учетом продолжительности замены $\tau_{зам}$ на станке.

В тех случаях, когда критерием расчета режимов резания служит наибольшая производительность операции, в качестве целевой функции принимается уравнение, определяющее переменную долю времени резания τ_n , зависящую от режимов резания:

$$\tau_n = \tau_p + \tau_{зам} \frac{\tau_p}{T}.$$

Последнее уравнение можно рассматривать как частный случай уравнения целевой функции для критерия наименьшей себестоимости операции, приняв $E_p = 1$ и $E_n = \tau_{зам}$.

После подстановки

$$\tau_p = \frac{\pi d l}{1000 V S}$$

и T из стойкостной зависимости

$$v = \frac{C_v K_v}{t^{x_v} s^{y_v} T^{\frac{1}{\mu}}}$$

уравнение целевой функции принимает вид $\theta(v, s)$:

$$\theta = \left[\frac{E_p}{vs} + E_n \left(\frac{t^{x_v}}{C_v K_v} \right)^{\mu} v^{\mu} s^{\mu y_v - 1} \right] \frac{\pi d l}{1000},$$

где d и l — соответственно диаметр и длина прохода; C_v , x_v , y_v , μ и K_v — константы и поправочный коэффициент в эмпирических стойкостных зависимостях, получаемых для различных условий обработки и сочетаний материалов заготовки и режущей части инструмента.

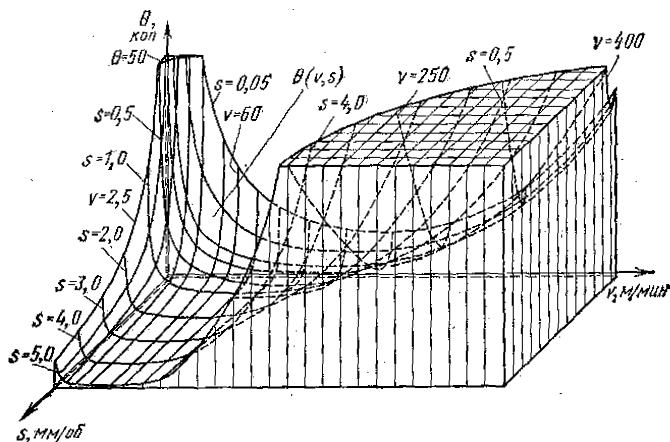


Рис. 92. Целевая функция $\theta(v, s)$

В данном уравнении целевой функции параметры режимов резания v и s являются переменными, а глубина резания t принимается постоянной величиной, выбранной ранее при определении последовательности проходов. График целевой функции $\theta(v, s)$ для некоторых условий обработки представлен поверхностью рельефа на рис. 92.

В процессе расчета режимов резания необходимо учитывать совокупность факторов, характеризующих предельные параметры системы СПИД, и требования к обработке. Эти факторы, называемые ограничениями, можно представить зависимостями их предельных значений от параметров режимов резания. Часть ограничений записывается непосредственно в виде $S_r(v)$, а другие ограничения приводятся к этому виду с использованием уравнений силы резания

$$P = C_p t^{x_p} s^{y_p} v^{n_p} K_p,$$

где C_p , x_p , y_p , n_p и K_p — константы и поправочный коэффициент в эмпирических зависимостях, получаемых для составляющих силы резания P_x , P_y и P_z .

На рис. 93 в координатной плоскости sOv показаны кривые функций ограничений $S_r(v)$: S_N — по мощности привода главного движения, S_Z — по наибольшему крутящему моменту, прочности и жесткости инструмента, S_Y — по жесткости детали и усилию на механизм поперечной подачи, S_X — по усилию на механизм продольной подачи, S_H — по шероховатости обрабатываемой поверхности, $S_{\min}$ и $S_{\max}$ — по предельным минутным подачам, $v_{\min}$ и $v_{\max}$ — по предельным скоростям резания, обеспечиваемым кинематикой станка.

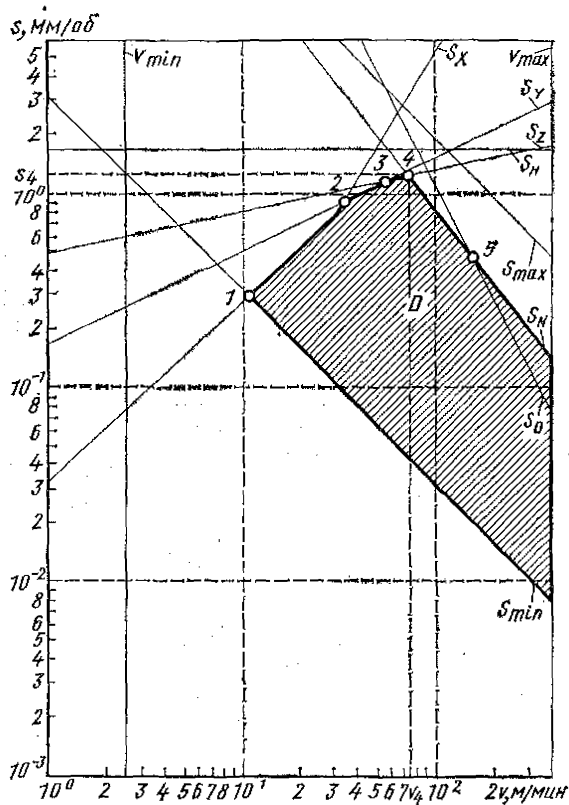


Рис. 93. Функции ограничений $S_r(v)$

На плоскости sOv кривые $S_r(v)$ ограничивают область D , координаты v и s каждой из точек которой соответствуют комбинации скорости резания и подачи, удовлетворяющей всем технологическим требованиям к обработке. Взаимное расположение кривых $S_r(v)$ зависит от конкретных условий резания. В рассматриваемом примере ограничения S_H и $S_{\max}$ не участвуют в образовании границы области D , поскольку на всем диапазоне скоростей над ними превалируют другие ограничения.

График целевой функции с ограничениями, определяющими область ее существования, представлен на рис. 94 поверхностью

$\theta_D(v, s)$, являющейся частью поверхности $\theta(v, s)$, расположенной над областью D .

Анализ поверхности $\theta(v, s)$ показывает, что на ней находится пространственная кривая $\theta_0(v, s)$, представляющая собой геометрическое место точек с наименьшими координатами θ в сечениях поверхности плоскостями $v = \text{const}$. Функция $\theta_0(v, s)$ монотонна по v и s , причем $\theta_0 \rightarrow 0$ при $v \rightarrow 0$ и $s \rightarrow \infty$. Это позволяет сделать вывод, что на поверхности $\theta_D(v, s)$ точка с наименьшей координатой θ лежит на участке ее границы, расположенном над неубывающими кривыми S_x, S_y, S_z и S_H .

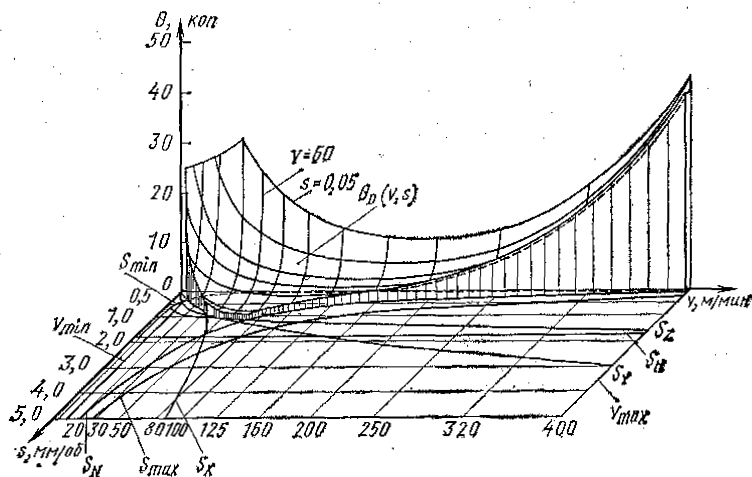


Рис. 94. Целевая функция $\theta(v, s)$ с ограничениями

В такой интерпретации задача определения оптимальных режимов резания сводится к поиску на участках неубывающих кривых границы области D точки, в которой целевая функция принимает наименьшее значение. Координаты этой точки v и s дают решение задачи — комбинацию скорости резания и подачи, удовлетворяющую заданному критерию оптимальности.

Расчет режимов резания по описанному методу производится на ЭВМ в три этапа.

На первом этапе формируется граница области D . В двойных логарифмических координатах уравнения ограничений $S_r(v)$ описывают прямые линии. Решением систем из пар уравнений определяются точки пересечения прямых и среди них выбираются точки, ограничивающие участки границы области D .

Второй этап связан с поиском на границе области D точки, отображающей $\theta_{\min}$. Искомой является точка пересечения участка границы с кривой S_0 , которая представляет собой проекцию кривой $\theta_0(v, s)$ на плоскость sOv . Так же, как и кривые $S_r(v)$, кривая S_0 в двойных логарифмических координатах изображается прямой

линией. Если в пределах анализируемого участка границы области D нет пересечения с кривой S_0 , то в качестве искомой точки принимается та из граничных точек анализируемого участка, которая расположена ближе к кривой S_0 . В рассматриваемом примере (см. рис. 93) анализируемым участком границы области D является ломаная 1—2—3—4, а искомой точкой — точка 4 с координатами v_4 и s_4 , в которой целевая функция $\theta(v, s)$ принимает наименьшее значение.

На третьем, заключительном этапе работы алгоритма найденная комбинация значений скорости резания v и подачи s пересчитывается в частоту вращения шпинделя n (об/мин) и минутную подачу S_m (мм/мин) с учетом дискретности их задания для конкретного станка с ЧПУ.

Исходной информацией для алгоритма расчета режимов резания служат характеристики станка, параметры режущего инструмента, материал и способ крепления заготовки, параметры проходов, стойкостные зависимости и уравнения сил резания, критерий расчета. Результатом являются оптимальные параметры режимов резания и необходимые для обслуживания станка и нормирования время резания и стойкость режущего инструмента.

В СПС-Т в первой среди отечественных САП применен промежуточный язык процессор-постпроцессор, рекомендованный комитетом ИСО.

СПС-К является универсальной САП для программирования обработки на станках с позиционными УЧПУ [17]. Она известна в двух модификациях: СПС-КС с высоким уровнем автоматизации программирования для сверлильных станков и СПС-КПА — со средним уровнем автоматизации программирования для сверлильно-расточных станков и многооперационных станков. Текст исходной информации в СПС-К записывается на четырех бланках. В первом бланке задаются общие данные и сопроводительная информация, которая выводится на печать для оператора станка с ЧПУ. Во второй бланк переносятся с чертежа детали размерные цепи, определяющие положения осей отверстий. В третьем бланке описываются формы отверстий. По этой информации на ЭВМ проектируется последовательность операций. Если принимаемые на ЭВМ решения для некоторых отверстий не удовлетворяют технолога-программиста, он может записать в четвертом бланке требуемую для них последовательность операций. Постоянная информация о станках с ЧПУ, инструментах и обрабатываемых материалах задается в анкетной форме, перерабатывается на ЭВМ и хранится в ее памяти в виде библиотек. Из решаемых в СПС-К технологических задач наиболее важными являются определение инструментальной наладки, режимов резания и последовательности обработки отверстий различными инструментами с минимизацией вспомогательных ходов. Особо следует отметить, что в общих данных могут быть указаны наименования группы станков, специализированных по видам операций, и задано прерывание процесса механической обработки для термообработки. В этом случае по одному комплекту исходных данных в СПС-К подготавливается требуемый набор УП.

СПС-ТАУ [2] разработана на базе СПС-Т. В ней сокращено до двух число исходных бланков, изменен состав обобщенных схем обработки, добавлены схемы проточки канавок, введено понятие группы перемещений для задания на низком уровне автоматизации участков траектории инструмента и принят метод определения режимов резания по заранее заданным в анкетах инструментов рекомендуемым значениям глубины резания, скорости резания и подачи с последующей коррекцией этих параметров поправочными коэффициентами, учитывающими конкретные условия обработки.

Из зарубежных САП первыми были созданы: в США — АРТ, в Англии — PROFILEDATA.

АРТ разработана в лаборатории сервомеханизмов Массачусетского технологического института при участии нескольких

авиационных фирм [4]. Она направлена на решение разнообразных геометрических задач, возникающих при программировании многокоординатной фрезерной обработки. Главными достоинствами АРТ являются ее входной язык с удачно построенной семантикой и универсальная структура «процессор-постпроцессор» с промежуточным языком. Эти языки положены в основу соответствующих единых языков ИСО. На базе АРТ были сформированы ее модификации **ADAPT** для программирования 2½-координатной фрезерной обработки и **AUTOSPOT** — для сверлильных операций. Ниже приведен текст исходной информации на входном языке **ADAPT**, записанный для программирования прохода вдоль наружного контура детали (см. рис. 32 и 95):

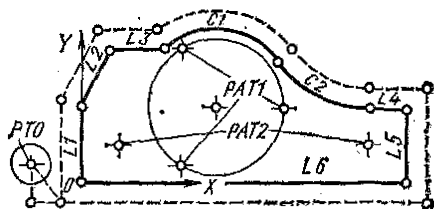


Рис. 95. Обозначение геометрических элементов для **ADAPT**

```

1 PARTNO/APT-ADAPT EXAMPLE
2 MACHIN/6R11F3-N 331
3 PTO = POINT/-25, 10
4 L1 = LINE/YAXIS
5 L2 = LINE/PT, ATANCL, 63.5
6 PT = POINT/0,40
7 L3 = LINE/XPAR, 70
8 C1 = CIRCLE/70, 40, 40
9 C2 = CIRCLE/YLARGE, L4, XLARGE, OUT, C1,RADIUS, 60
10 L4 = LINE/XPAR, 40
11 L5 = LINE/YPAR, 170
12 L6 = LINE/XAXIS
13 CUTTER/20
14 SPINDL/400, CLW
15 COOLNT/ON
16 FEDRAT/200
17 FROM/PTO
18 GO/TO, L6
19 TLRGT, GORGT/L6, PAST, L5
20 GOLFT/L5, PAST, L4
21 GOLFT/L4, TANTO, C2
22 GOFWD/C2, TANTO, C1

```

23 GOFWD/L1, TO, L3, INTOF, 2
 24 GORGT/L3, PAST, L2
 25 GOLFT/L2, PAST, L1
 26 GOLFT/L1, PAST, L6
 27 GOTO/PTO
 28 COOLNT/OFF
 29 SPINDL/OFF
 30 FINI,

что означает: 1 — Номер детали/Пример АРТ—АДАРТ; 2 — Станок/6Р11Ф3—Н331; 3 — РТО = Точка/ $x = -25$ мм, $y = 10$ мм; 4 — L1 = Прямая/Ось Y; 5 — L2 = Прямая/Через РТ, Под углом, $63,5^\circ$; 6 — РТ = Точка/ $x = 0$, $y = 40$ мм; 7 — L3 = Прямая/Параллельная оси X, $y = 70$ мм; 8 — C1 = Окружность/ $x_c = 70$ мм, $y_c = 40$ мм, $R = 40$ мм; 9 — C2 = Окружность/Y больше, Касательная L4, X больше, Внешняя, Касательная C1, $R = 60$ мм; 10 — L4 = Прямая/Параллельная оси X, $y = 40$ мм; 11 — L5 = Прямая/Параллельная оси Y, $x = 170$ мм; 12 — L6 = Прямая/Ось X; 13 — Инструмент/ $D_\phi = 20$ мм; 14 — Шпиндель/400 об/мин, Направление вращения по ходу часовой стрелки; 15 — Охлаждение/Включить; 16 — Подача/200 мм/мин; 17 — Исходное положение вершины/РТО; 18 — Иди/До L6; 19 — Инструмент справа, Иди вправо/По L6, За L5; 20 — Иди влево/По L5, За L4; 21 — Иди влево/По L4, До касания с C2; 22 — Иди вперед/По C2, До касания с C1; 23 — Иди вперед/По C1, До L3, Пересечение 2; 24 — Иди вправо/По L3, За L2; 25 — Иди вправо/По L2, За L1; 26 — Иди влево/По L1, За L6; 27 — Иди до /РТО; 28 — Охлаждение/Выключить; 29 — Шпиндель/Выключить; 30 — Конец текста.

При программировании сверлильных операций в AUTOSPOT задаются инструменты, центры отверстий и последовательность обработок. Запись систем точек, определяющих центры отверстий, которые расположены на окружности и прямой (см рис. 95), на входном языке этой САП имеет вид

1. PAT1 = PATTERN/AT (70, 40) RADIUS

(35) SA (0) IA (120) NH (3)

2. PAT2 = PATTERN/SX (20) SY (20) DX (130) NH (2),

что означает: 1 — PAT 1 = Система точек/ Окружность задана центром ($x_c = 70$ мм, $y_c = 40$ мм) и радиусом ($R = 35$ мм), Начальный угол (0°), Приращение угла (120°), Число точек (3); 2 — PAT 2 = Система точек/Абсцисса первой точки ($x = 20$ мм), ордината первой точки ($y = 20$ мм), Приращение абсциссы ($\Delta x = 130$ мм), Число точек (2).

Для программирования токарной обработки в состав АРТ позже был включен специальный препроцессор WESTURN. АРТ сыграла значительную роль в формировании многих САП, например EXAPT (ФРГ), NELNC (Англия), IFAPT (Франция), FAPT (Япония), MODAPT (Италия) и др., которые по признаку использования подмножества ее входного языка относят к семейству АРТ.

PROFILEDATA (Англия) — одна из первых европейских САП для позиционной сверлильной и 2 1/2-координатной фрезерной обработки [14]. Исходная информация задается в двух табличных бланках. В первом бланке записываются геометрические элементы детали, а во втором — траектория инструмента и операционная технология обработки. В число параметров, характеризующих геометрические элементы, входят направления прямых и окружностей, что упрощает описание сложных случаев их определения.

Положительные направления прямых ограничены углами $0^\circ \leq \alpha < 180^\circ$, а для окружностей положительным принято направление движения по часовой стрелке. Геометрические определения записываются с помощью буквенных символов: P — точка, S — прямая, C — окружность, R — справа, L — слева, H — горизонталь, U — вертикаль, N — ближе (первое), F — дальше (второе), T — касательная (направления элементов совпадают), A — антикасательная (направления элементов противоположны), D — расстояние, B —

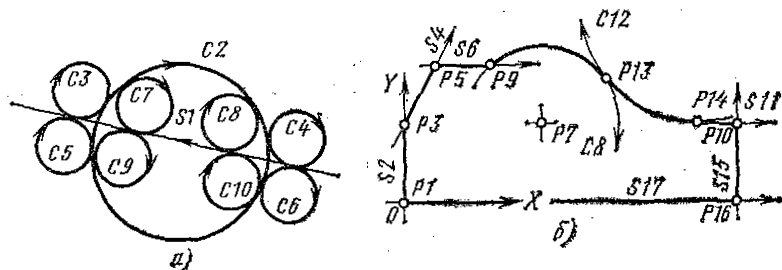


Рис. 96. Обозначение геометрических элементов для PROFILEDATA

угол. Применение этих символов иллюстрируют определения окружностей радиуса R, касательных к прямой (S1) и окружности (C2), изображенных на рис. 96, а:

C3	F	TS1	AS2	R
C4	N	TS1	AS2	R
C5	F	AS1	AS2	R
C6	N	AS1	AS2	R
C7	F	TS1	TS2	R
C8	N	TS1	TS2	R
C9	F	AS1	TS2	R
C10	N	AS1	TS2	R

и пример записи геометрических определений элементов наружного контура детали (см. рис. 32 и 96, б):

1	P1	0	0
2	S2	U	P1
3	P3	S2	Y 40
4	S4	B	63.5 P3
5	P5	S4	Y 70
6	S6	H	P5
7	P7	70	40
8	C8	P7	40
9	P9	N	S6 C8
10	P10	170	40
11	S11	H	P10
12	C12	F	AS11 AC8 60
13	P13	C8	C12
14	P14	C12	S11
15	S15	U	P10
16	P16	170	0
17	S17	H	P16

Строки 1—17 содержат следующую информацию: 1 — Точка 1, $x = 0$, $y = 0$; 2 — Прямая 2, Вертикаль, Через точку 1; 3 — Точка 3, На прямой 2, $y = 40$ мм; 4 — Прямая 4, Угол $63,5^\circ$, Через точку 3; 5 — Точка 5, На прямой 4, $y = 70$ мм; 6 — Прямая 6, Вертикаль, Через точку 5; 7 — Точка 7, $x = 70$ мм, $y = 40$ мм; 8 — Окружность 8, Центр в точке 7, $R = 40$ мм; 9 — Точка 9, Первая из возможных; На пересечении прямой 6 и окружности 8; 10 — Точка 10, $x = 170$ мм, $y = 40$ мм; 11 — Прямая 11, Горизонталь, Через точку 10; 12 — Окружность 12, Вторая из возможных, Антикасательная к прямой 11, Антикасательная к окружности 8, $R = 60$ мм; 13 — Точка 13, Касание окружности 8 и окружности 12; 14 — Точка 14, Касание окружности 12 и прямой 11; 15 — Прямая 15, Вертикаль, Через точку 10; 16 — Точка 16, $x = 170$ мм, $y = 0$ мм; 17 — Точка 17, Горизонталь, Через точку 16.

В PROFILEDATA возможно программировать изготовление кулачков и других деталей, участки контуров которых заданы таблично координатами опорных точек.

AUTORIT (ФРГ) — одна из первых европейских САП, автоматизирующая решение технологических задач применительно к обработке ступенчатых деталей на специальных токарных станках со сменными резцовыми блоками. Входной язык AUTORIT содержит 49 слов, с помощью которых описываются контуры детали и заготовки и условия обработки. По заданным контурам детали и заготовки на ЭВМ формируются прямоугольные области, анализ которых приводит к выбору продольного или поперечного направления их обработки соответствующим инструментом. Далее, исходя из возможностей инструментальной наладки, рассчитываются равномерно распределенные проходы, и для каждого из них выбирается подача с учетом допустимого крутящего момента. Последующие редакции AUTORIT были направлены на расширение области ее применения и использование малых ЭВМ.

AUTOPROG (ЧССР) — специализированная САП предназначенная для программирования обработки ступенчатых валов на токарных станках с прямоугольным управлением. Принцип этой САП основан на одном из приемов конструирования, когда для детализовки применяются готовые эскизы с заранее установленными связями размерных цепей [4]. Заполненная таблица размеров такого эскиза служит исходной информацией для AUTOPROG. Для валов, изготовление которых программируется в AUTOPROG, заранее отработаны и записаны в долговременную память ЭВМ инструментальные наладки, последовательность обработки и режимы резания. Типовая технология вызывается при расчете УП по кодовым номерам эскизов, чем достигается высокий уровень автоматизации программирования. Дальнейшее совершенствование AUTOPROG проведено на основе статистического анализа изготавливаемых деталей и классификации обрабатываемых поверхностей. В результате была создана универсальная САП со структурой «процессор-постпроцессор» и табличным входным языком, предусматривающим запись параметров наружных и внутренних контуров тел вращения в виде набора цилиндров, конусов, торов и расположенных на них разнообразных канавок, фасок и скруглений. Выбор операционной технологии в универсальном варианте AUTOPROG ведется на ЭВМ по принципу комполяции закрепленных за каждым типовым элементом инстру-

ментов с рекомендуемыми режимами резания и учетом конкретных условий обработки: числа позиций резцедержателя, материала заготовки, жесткости системы СПИД и требований к точности и шероховатости обрабатываемых поверхностей детали.

SYMAP (ГДР) представляет собой комплексную САП, три блока которой Р, В и S, ориентированные на позиционные, прямоугольные и непрерывные УЧПУ, входят в состав ее модификаций для программирования операций: сверления — SYMAP (P), прямоугольного фрезерования — SYMAP (S), двухкоординатного фрезерования — SYMAP (B), сверления и прямоугольного фрезерования на многооперационных станках — SYMAP (PS), точения ступенчатых деталей — SYMAP (DS) и точения криволинейных деталей — SYMAP (DB). В этой САП представляет интерес принцип построения входного языка, исходная информация на котором записывается в универсальном бланке из десяти граф. В него заносятся следующие данные: порядковые номера строк; слова-команды, определяющие содержание данной и последующих строк до появления нового слова-команды; слова-переменные, обозначающие маркерами величины и понятия для возможности ссылаться на них в последующих строках; слова-определения, буквы которых являются начальными буквами слов, поясняющих содержание параметров в последующих шести графах бланка. Таким образом, с помощью языка SYMAP можно описать геометрические, технологические и арифметические элементы, а также задать различные указания по проведению вычислительного процесса подготовки УП на ЭВМ. Пример записи на языке SYMAP (B) для программирования фрезерной обработки наружного контура детали (см. рис. 32 и 97) приведен в табл. 30.

В строках этой таблицы записано: 1 — слово-команда «Программа», являющееся признаком начала текста исходной информации; наименование детали (здесь может быть указан номер чертежа); слово-определение и параметры: модель станка, тип УЧПУ, код для перфорации УП, код для перфорации текста исходной информации, номер УП (или ее части); 2 — слово-команда для ЭВМ, наименование блока вычислительных программ, код материала заготовки и точность аппроксимации; 3 — слово-команда «Нулевая точка», маркер этой точки и слово-определение состава параметров, которыми являются координаты x , y и z начала системы координат детали в системе координат станка; 4—17 — определение элементов: 4 — определение инструмента «Концевая фреза» и параметры: диаметр фрезы, частота вращения шпинделя, рабочая подача, расстояние от вершины инструмента до торца шпинделя, длина режущей части фрезы; 5 — обозначение технологической операции «фрезе-

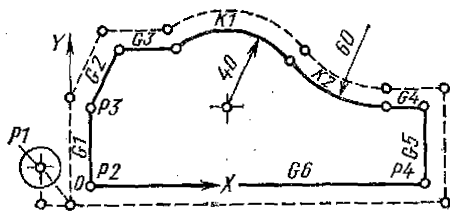


Рис. 97. Обозначение геометрических элементов для SYMAP

№ по пор.	Слово- команда	Переменная	Определение	Параметры					
				1	2	3	4	5	6
1	PROGR	DECKEL	MSCCNR	6R11	N33	ISO	M2	1	
2	BLOCK		KOPGK	2	0,02				
3	NP	M1	MXYZ	30	85	175			
4	DEF	W1	SCHAFR	20,0	1250	200	100	60	
5		T1	FRAESE	W1	1	12,0			
6		P1	PXY	-25	10				
7		P2	PXY	0	0				
8		P3	PXY	0	40				
9		G1	GPP	P2	P3				
10		G2	GPW	P3	63.5				
11		P4	PXY	170	0				
12		G6	GPP	P2	P4				
13		G3	GGA	G6	70	YGR			
14		K1	KXYR	70	40	40			
15		G4	GGA	G6	40	YGR			
16		K2	KGKR	G4	YGR	K1	AUS	40	XGR
17		G5	GGA	G1	170	XGR			
18	START								
19	TECH	T1							
20	GHINT	G6							
21	WERTS								
22	BLKS	G6							
23		G5							
24		G4							
25	BVWS	K2							
26		K1							
27	BRTS2	G3							
28	BLKS	G2							
29		G1							
30	GHINT	G6							
31	PZU	P1							
32	BLENDE								
33	ENDE								

рование», маркер инструмента, номер его позиции в револьверной головке, глубина резания; 6, 7, 8 и 11 — определение точек P1, P2, P3 и P4 координатами x и y ; 9 и 12 — определение прямых G1 и G6 точками P2, P3 и P2, P4; 10 — определение прямой G2 точкой P3 и углом; 13 и 15 — определение прямых G3 и G4, параллельных прямой G6, признак «Y больше»; 14 — определение окружности K1 координатами центра и радиусом; 16 — определение окружности K2, касательной прямой и окружности с заданным радиусом параметрами: прямая G4, признак «Y больше», окружность K1, признак «внешняя», радиус, признак «X больше»; 17 — определение прямой G5, параллельной прямой G1 на заданном расстоянии, признак «X больше»; 18 — слово-команда, указывающее на начало описания траектории инструмента; 19 — слово-команда для реализации технологической операции, обозначенной маркером; 20 — перемещение на прямую G6; 21 — инструмент справа; 22, 23 и 24 —

движение влево вдоль прямых G6, G5 и G4; 25 и 26 — движение вперед вдоль окружностей K2 и K2; 27 — движение вправо по прямой G3 со второй точки ее пересечения с предыдущим элементом; 28 и 29 — движение влево вдоль прямых G2 и G1; 30 — перемещение за прямую G6; 31 — позиционирование в точку P1; 32 — слово-команда для ЭВМ, указывающее на окончание работы определенного ранее блока программ; 33 — слово-команда, являющееся признаком конца текста исходной информации.

САП SYMAP входит в состав АСТПП AUTOTECH. В ориентации на малую ЭВМ разработаны САП AUTOTECH/SUMAP в составе модулей DR4 для токарных станков и BOFR3 для сверлильных и фрезерных станков с ЧПУ.

Современные САП на больших ЭВМ

Развитие средств ВТ и унификация ПМО больших ЭВМ создали условия для разработки мощных комплексных САП, значительно сокращающих трудоемкость и в меньшей мере — стоимость подготовки УП.

Современные отечественные САП ЕСПС-ТАУ и «ТЕХНОЛОГ» имеют модульную структуру, которая позволяет расширять возможности САП без существенного изменения основного программного математического обеспечения.

ЕСПС-ТАУ создана с учетом опыта разработки СПИС, СПС-К и СПС-ТАУ. В ее состав входят следующие базовые модификации САП: ТАУ-Ф для программирования операций 2 1/2-координатной фрезерной обработки, ТАУ-Т — токарной обработки, ТАУ-С — сверлильной и ТАУ-СРФ — сверлильно-расточно-фрезерной обработки. Эти САП объединяет: общность структуры препроцессор-процессор-постпроцессор, универсальный входной язык, предусматривающий как свободную, так и упорядоченную словарную запись текста исходной информации; единый промежуточный язык процессор-постпроцессор, установленный РТМ2 Н00-11—79; единая база данных о станках с ЧПУ, инструментах и обрабатываемых материалах; единое ПМО, модульный принцип построения которого позволяет использовать общие блоки для переработки анкет постоянной информации, решения идентичных задач программирования для различных технологических групп станков, формирования сопроводительной документации с учетом требований различных потребителей САП; единая организация вычислительного процесса на ЕС ЭВМ [2].

ТАУ-С характеризуется высоким уровнем автоматизации программирования обработки отверстий. Она выполнена в виде препроцессора универсальной САП ТАУ-СРФ, в котором решаются задачи выбора последовательности операций, инструментов и режимов резания по описанию форм отверстий. В ТАУ-С осуществляются контроль исходной информации, заданной в словарно-табличной форме, ее переработка с использованием технологической базы данных и передача результатов на универсальном входном языке в процессор для дальнейшего расчета УП.

Исходная информация на входном языке ТАУ-С записывается в специальный программный бланк, разделенный на три части: для записи общих данных и условий обработки, для описания расположения отверстий и для описания формы отверстий в осевом сечении. Возможности ТАУ-С поясняет пример записи в программном бланке (табл. 31) исходной информации для программирования обработки отверстий детали (см. рис. 32, 33 и 98).

В верхней части бланка в соответствии с наименованиями граф указываются: наименование или номер чертежа детали; модель станка с ЧПУ для вызова требуемого постпроцессора; габариты заготовки, необходимые для контроля перемещений на быстром ходу; марка обрабатываемого материала, используемая при выборе режимов резания; способ крепления заготовки, записываемый в карте

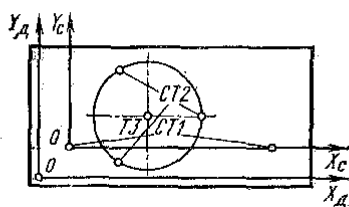


Рис. 98. Обозначение геометрических элементов для ТАУ-С

наладки станка; точность обработки отверстий со свободными размерами, указывать которую не обязательно: отсутствие записей в этой графе соответствует заданию качества 12; безопасная плоскость перемещений инструмента на быстром ходу, определяемая координатой z в системе координат детали; нулевая точка отсчета абсолютных перемещений рабочих органов станка, указываемая координатами x и y в системе координат детали; номер УП, используемый для идентификации комплекта технической документации УП.

В строках средней части бланка для приведенного примера заданы расположения центров систем точек СТ1 и СТ2 и отдельной точки ТЗ: 1 — СТ1 определена прямой, проходящей через точку с координатами $x = 20$ мм, $y = 20$ мм и $z = 0$, под углом 0° к оси абсцисс; число точек в этой системе — 1, кроме определенной в этой же строке первой точки; расстояние между точками вдоль прямой задано шагом, равным 130 мм; 2 — СТ2 определена окружностью с центром в точке ТЗ, диаметр которой $D70$; первая точка этой системы задана углом, равным 0; число равномерно распределенных по окружности точек равно трем; 3 — ТЗ задана координатами $x = 70$ мм и $y = 40$ мм. Аналогично задаются и другие случаи расположения центров отверстий. В графе 12 указываются номера точек, исключаемых из системы точек.

Информация о профилях отверстий записывается в строках нижней части программного бланка по графам: 1 — номер строки по порядку, начиная с 1 или для отличия от нумерации предыдущих строк бланка — с 100; 2 — код, определяющий число ступеней отверстия; 3 — место обработки указывается перечнем маркеров отдельных точек или систем точек одинаковых отверстий; 4 — тип отверстия, где в случае глухого отверстия записывается признак ГЛ, а признаком сквозного отверстия служит запись СКВ или отсутствие записи в этой графе; 5 — состояние отверстия перед обработкой определяет диаметр предварительного отверстия; 6 — диа-

Таблица 31

Номер чертежа	Ставок	Заготовка	Материал	Крепление	Точн. зв. р.	Безоп. плоск.	Цулевая точка		Номер УП
							х	у	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
КРЫШКА	2Р135	180, 90, 12	СТ45	ТИШКИ		40	20	20	1

№	Т, СТ	Код	х, Т, СТ	у	z	Д, Р, Т, СТ	Угол начал.	Угол конеч.	Число точек	Шаг	Кроме точек
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	СТ1	ПР	20	20	0	Д70	0		1	130	
2	СТ2	КР	Т3	40			0		3		
3	Т3		70								

№	Код	Место обраб.	Тип. отв.	Сост. перед обра- боткой	Д	Н	Дно	Фаска	Угол фаски	Сост. пов.	Точн. оси	Техн. указ.
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
100	1	СТ1			10Н8	12		1	45		0.05	
101	1	СТ2			М6	12		0.5	45			
102	1	Т3			30	12						

Номер чертежа	Но- мер УП	Заго- товка	Мате- риал	Крепле- ние	Безопас- ная пло- щадь	Нулевая точка		
						x	y	z
1	2	3	4	5	6	7	8	9
КРЫШКА	2	180, 90, 12	СТ45	СТОЛ	40	80	60	60
10 станок		6Р11ФЗ	11 Дата	5,6,81	12 Технолог	ПЕТРОВ		

№	Код	Описание	Доп. указ.	Инстру- мент	Кор- рек- тор	s	v
1	2	3	4	5	6	7	8
1	*T1	-25, 10	0				
2	*1	X0					
3	*2	Ч, T2, 63,5Г					
4	*T2	0,40					
5	*3	У70					
6	*-КР4	Ц, T3, P40					
7	*T3	70, 40					
8	*КР5	К, 6, 4, P60, УБ, ХБ					
9	*6	У40	СПР	1/Д20		200	400
10	*7	X170					
11	*8	У0					
12	КОНТ1	1; 3, 4, ХМ, 5; 8					
13	КОНТ2	ОБР/КОНТ1					
14	РАСФ	T3/16, Д30, Д60					
15	ФРК	T1, Z16 (КОНТ2) T1					

опускание фрезы вдоль оси Z на 16 мм, обработка контура КОНТ2 (инструмент и режимы остаются прежними), возврат в точку T1, фреза справа от контура.

Входной язык ТАУ-СРФ позволяет описывать системы точек, кривые, заданные аналитически и в табличной форме, трансформацию геометрических элементов, форму ступенчатых отверстий, последовательность переходов и отдельных перемещений инструмента, задавать параметры инструментов, технологические команды и указания о разделении операции на установовы. Диагностические программы позволяют обнаружить в исходной информации синтаксические, логические, геометрические и технологические ошибки.

ТАУ-Т предназначена для программирования переходов и отдельных перемещений инструмента при изготовлении деталей типа тел вращения на станках с ЧПУ токарной группы. Препроцессоры этой САП разрабатываются для автоматизации проектирования опе-

рационного технологического процесса изготовления деталей отдельных групп и классов. В ТАУ-Т используется развитый банк технологической информации, подготовляемый с помощью подробных анкет параметров станков с ЧПУ, инструментов и обрабатываемых материалов.

В базовой модификации ТАУ-Т исходная информация записывается на универсальном входном языке в общем для ЕСПС-ТАУ бланке. Пример программирования в ТАУ-Т токарной обработки вала (см. рис. 35, 36 и 100) приведен в табл. 33.

В строках 1—17 таблицы геометрических и технологических определений описан контур вала. Геометрические элементы контура в табл. 33 и на рис. 100 помечены знаком *. Учитывая, что большинство элементов контура деталей тел вращения представляет собой проекции цилиндрических и торцовых поверхностей, принято упрощенное задание элемента контура цилиндра (горизонтали) диаметром, а элемента контура торца (вертикали) — абсциссой. Так,

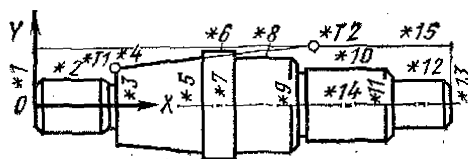


Рис. 100. Обозначение геометрических элементов для ТАУ-Т

*5 и *13 заданы абсциссами X40, X85 и X210. Проекция конической поверхности описана в строке 4 прямой (элемент *4), проведенной через две точки *T1 и *T2, заданные координатами x и y в строках 5 и 6 (отношение приращений координат этих точек соответствует указанной на чертеже конусности 1:5). На основных элементах контура могут находиться вспомогательные элементы — фаски и скругления и дополнительные элементы — канавки, обрабатываемые контурным резцом. Эти элементы можно описывать отдельно или в строке с основным элементом, на котором они расположены. В строках 1, 10, 12 и 14 заданы фаски, расположенные между элементами *1 и *2, *8 и *9, *10 и *11, *12 и *13, а в строке 2 вместе с основным элементом *2, который определен диаметром (D30), указан тип канавки (КШ) (канавка для выхода шлифовального круга или резьбового резца); элемент *3, к которому примыкает канавка; диаметр канавки (D27.8); ширина канавки (4); угол скоса канавки (30Г). Канавки, обрабатываемые канавочным резцом, описываются с помощью технологических определений. Размерные цепи переносятся из чертежа в бланк без пересчетов с использованием ссылок на номера элементов, относительно которых проставлены размеры. Так, в строках 9, 11 и 13 абсциссы заданы разностями между абсциссой элемента *13 и линейными размерами, определяющими элементы *7, *9 и *11. Контур детали всегда описывается как замкнутый. В строке 16 ординатой Y0 задана в качестве замыкающего элемента *14 ось вращения детали. В строке 17 записано определение всего контура детали, составленного из элементов *1—*14, включая вспомогательные и дополнительные элементы. После этой записи элементы

Таблица 33

№ чертежа	Номер УП	Заго- товка	Мате- риал	Крепле- ние	Безопас- ная плоскость	Нулевая точка		
						х	у	z
1	2	3	4	5	6	7	8	9
ВАЛ	3	Д60, 210	СТ45	ЦЕНТР				
10 Станок	16К20Ф3	11 Дата	7.6.81	12 Тех- нолог	ПЕТРОВ			

№	Код	Описание	Доп. указ.	Ин- стру- мент	Кор- рек- тор	s	v
1	2	3	4	5	6	7	8
1	*1	X0, Ф2					
2	*2	Д30, КШ, 3, Д27.8,4, 30Г					
3	*3	X40					
4	*4	Ч, Т1, Т2					
5	*Т1	40, 20					
6	*Т2	140, 30					
7	*5	X85					
8	*6	Д54					
9	*7	X (13)—110					
10	*8	Д50, Ф1					
11	*9	X (13)—75.7					
12	*10	Д38, Ф1					
13	*11	X (13)—30					
14	*12	Д23, Ф1					
15	*13	X210					
16	*14	У0					
17	КОНТ	1; 14					
18	УСТ1	ИСХ, 260, 260, ЗАЖ, —180					
19	ВЫБ	(7; 12) 13, 15	—X	1		200	500
20	*15	Д60					
21	КОН	(Ф12, 12; 7)	СПР	2		100	1000
22	КП	10, 9, В3, Д37.5		3		100	500
23	УСТ2	ИСХ, 260, 260, ЗАЖ, —390/ОБР					
24	ВЫБ	7 (6; 2) 1, 15	X	1		175	500
25	КОН	(Ф1, 2; 6)	СЛ	2		100	1000
26	P	Т3 (Д30) Т4	Ш1.5	4			315
27	*Т3	—5, 15					
28	*Т4	38, 15					
29	ИНСТ	1/ПРОХ, L—34/—88, ТР6, ПРИП 0.5, РАД 0.8					
30	ИНСТ	2/ПРОХ, L—34/—88, РАД 0.2					
31	ИНСТ	3/НКАН, L—34/—88, ШРЧ3					
32	ИНСТ	4/НРЗБ, L—22/—88					

контура могут рассматриваться не как отдельные геометрические образы, а как участки контура, ограниченные точками их пересечений с соседними элементами.

В строках 18—28 заданы технологические определения обработки вала в 1-й и 2-й установках. Связь между системами координат детали, станка и инструмента определена в строках 18 и 23: исходное положение (ИСХ) базовой точки резцедержателя задано координатами x и y в системе координат детали, а положение базового торца вала относительно плоскости шпинделя при зажиме (ЗАЖ) заготовки в патроне — значением $L_{уст}$ (при обратной ориентации детали записывается слово ОБР). Обобщенные указания об обработке участков заготовки записываются по следующей схеме: технологический переход (ВЫБ — черновая зона выборки, КОН — проход вдоль контура, КП — проточка прямоугольной канавки, Р — нарезание резьбы, ЦЕН — центрование, СВ — сверление и т. п.); контур зоны или параметры обработки; направление проходов, расположение инструмента, шаг резьбы или другие дополнительные указания; инструмент; корректоры; режимы резания. Например, в строке 19 записано: черновая зона выборки; контур зоны ограничен участком контура детали 7—12 и участком контура заготовки 13 и 15; направление рабочей подачи черновых проходов определено отрицательным направлением оси абсцисс ($-X$); инструмент в позиции 1; подача 200 мм/мин; частота вращения шпинделя 500 об/мин; в строке 21 — проход вдоль контура от фаски элемента*12 до элемента *7 включительно; резец расположен справа от этого контура; инструмент в позиции 2; подача 200 мм/мин; частота вращения шпинделя 1000 об/мин; в строке 22 — проточка прямоугольной канавки (КП); она расположена на элементе *10 и примыкает к элементу *9, диаметр канавки 37,5 мм; инструмент и позиции 3; подача 100 мм/мин; частота вращения шпинделя 500 об/мин; в строке 26 — нарезание резьбы; проходы ограничены абсциссами точек Т3 и Т4, диаметр резьбы 30 мм; шаг резьбы 1,5 мм; частота вращения шпинделя 315 об/мин. Припуски на обработку, инструменты, корректоры и параметры режимов резания определяются алгоритмически, если они не заданы в исходной информации. Инструмент, не внесенный анкетой в базу данных, задается в исходной информации минимально необходимым для расчетов набором параметров: в строке 29 описан установленный в 1-й позиции проходной резец (вылет — задан координатами $x = -34$ мм, $y = -88$ мм относительно базовой точки резцедержателя, предельная глубина резания 6 мм, припуск на последующую чистовую обработку 0,5 мм, радиус закругления при вершине 0,8 мм), а в строках 30, 31 и 32 — наружный, контурный канавочный (ШРЧ — ширина режущей части) и наружный резьбовой резцы.

Промышленная эксплуатация комплекса САП ЕСПС-ТАУ ведется на ЭВМ серии ЕС в КЦПП.

«ТЕХНОЛОГ» — современная САП для фрезерных, токарных, сверлильно-расточных и многооперационных станков. Она создана на базе опыта разработки и промышленной эксплуатации семейства

САП-2, САП-8, САП-4 и САП-5 [5]. В этой САП предусмотрены различные уровни автоматизации программирования. В простейшем случае подготовку УП можно вести на низком уровне методами, применяемыми в САП-2. При отсутствии в банке постоянной информации параметров обрабатываемых материалов и режущих инструментов используются методы, аналогичные принятым в САП-3, где в исходной информации задаются геометрические параметры инструмента, режимы обработки и типовые технологические схемы переходов для обработки участков заготовки. Наконец, с использованием необходимых каталогов банка постоянной информации могут применяться методы автоматизации технологического проектирования переходов обработки с расчетом режимов резания. Зарезервирована возможность перехода и на более высокий, пооперационный уровень технологического проектирования, когда в исходной информации достаточно будет закодировать данные чертежей детали и заготовки, а также указать тип используемого для обработки оборудования. Модульная структура ПМО САП «ТЕХНОЛОГ» позволяет использовать его в различной комплектации в зависимости от требуемого состава задач, решаемых в конкретных производственных условиях, и одним из основных его назначений является математическое обеспечение систем группового управления станками от ЭВМ.

В ориентации на программирование автоматизированных участков из станков с ЧПУ создана и САП **СТПВ** — система технологической подготовки производства деталей типа тел вращения, в которой для унифицированного оборудования участка (станков, крепежной и инструментальной оснастки) типизированы схемы обработки отдельных групп деталей, благодаря чему реализован высокий уровень автоматизации программирования [18]. В СТПВ по одноразовому описанию детали и заготовки проектируется серия установов и рассчитывается соответствующий им набор УП с учетом распределения обработки между станками участка. Объем технологических данных минимален: задают в основном код типовой технологической схемы обработки на участке, определяющий, например, число черновых и окончательных операций, а также нетиповые технологические требования к операциям. На ЭВМ решаются следующие задачи: разделение на установы с выбором ориентации детали и построением операционного контура для каждого установа, выбор оснастки для закрепления заготовки, выбор необходимых инструментов и последовательности их работы, распределение корректоров и определение схем коррекции, расчет траектории инструмента и режимов резания, формирование УП и сопроводительной документации. В состав документации входят карты наладки станков и инструментов, карта операционных размеров для операций предварительной обработки, распечатка кадров УП и данные для системы планирования работы участка. Метод задания исходной информации — табличный. Он предусматривает перенос данных с исходных документов в бланк по функциональным разделам практически без пересчетов и перекодировок. Алгоритмический контроль исходной информации и промежуточных результатов проектирования операций обеспечивает вы-

явление на ЭВМ всех ошибок, приводящих к аварийным ситуациям, что позволило исключить этап контроля и отладки УП на станках участка. СТПВ реализована на большой ЭВМ и используется для участков типа АСВ.

Комплексные зарубежные САП ЕХАРТ (ФРГ), NELNC (Англия), IFART и PROMO (Франция) реализованы на больших ЭВМ второго и третьего поколений. Эти САП используют подмножества входного языка АРТ с необходимыми дополнениями, обусловленными расширением технологических возможностей автоматизации программирования. Следует отметить, что не для всех пользователей этих САП английская база языка является естественной, и это вызывает определенные затруднения при работе с ЕХАРТ и IFART в странах-разработчиках этих САП.

ЕХАРТ имеет модульную структуру, которая позволяет компоновать самостоятельные САП различного технологического назначения. Базовыми являются ЕХАРТ 1 для программирования сверлильных и простых фрезерных операций на станках с позиционным и прямоугольным управлением, и ЕХАРТ 2 для токарной обработки [13]. ЕХАРТ 1.1 представляет собой расширенную редакцию ЕХАРТ 1 для программирования изготовления деталей на многооперационных станках. ЕХАРТ 3 для программирования 2 1/2-координатной фрезерной обработки можно рассматривать как аналог АРТ—АДАРТ, причем в состав ЕХАРТ 2 и ЕХАРТ 3 входит большинство модулей ЕХАРТ 1 для решения технологических задач обработки отверстий. В ЕХАРТ 1 и ЕХАРТ 1.1 предусмотрено определение на ЭВМ последовательности переходов с выбором инструментов. В ЕХАРТ 2 и ЕХАРТ 3 реализованы обобщенные технологические схемы обработки. Режимы резания в ЕХАРТ могут быть заданы в исходной информации, выбраны из банка постоянной технологической информации или рассчитаны на ЭВМ с оптимизацией. В банке постоянной технологической информации хранятся данные об инструментах и обрабатываемых материалах, подготовляемые в форме анкет.

Текст исходной информации на входном языке ЕХАРТ содержит различные по назначению группы фраз: общие данные, геометрические определения, технологические указания и инструкции выполнения обобщенных и подробных указаний, включая технологические команды. Общие данные и геометрические определения записываются фразами, аналогичными принятым в АРТ и едином входном языке ИСО. Технологические указания зависят от вида обработки и возможности автоматизации решения конкретных задач.

В ЕХАРТ 1 предусмотрено три типа технологических указаний: 1) подробные инструкции о траектории инструмента; 2) задание одиночных операций типа сверления, расточки, нарезания резьбы и т. п.; 3) описание циклов обработки отверстий с указанием только конечных операций, по которым все требуемые операции предварительной обработки определяются автоматически. Структура фраз для задания одиночных операций и циклов обработки имеет вид: Маркер = Главное слово / Модификаторы.

Модификаторы задают параметры обработки: SO — признак одиночной операции; DIAMET, d — диаметр; DEPTH, t — глубину; TOOL, e — номер инструмента; FEED, s — подачу; SPEED, v — скорость резания; SPIRET, g — код возвратного хода шпинделя;

NOREV — отмену отвода инструмента или изменения подачи; TOLPO — признак точного отверстия, обозначающий необходимость центрования; BLIND, i — признак глухого отверстия и код: 1 — дно произвольной формы, 2 — плоское дно; BEVEL — фаску; DIABEV, j — диаметр фаски; ANBEV, m — угол фаски; TAT, p — резьбу и код: 1 — стандартная метрическая резьба, 2 — мелкая метрическая резьба, 3 — дюймовая резьба; PITCH, h — шаг резьбы.

Таким образом, технологические указания о циклах обработки отверстий могут быть, например, записаны следующими фразами: для глухого отверстия (рис. 101, а)

TOOLPO, BLIND, i, DIABEV, j, ANBEV, m,

Главные слова	Модификаторы														
	SO	DIAMET, d	DEPTH, t	TOOL, e	FEED, s	SPEED, v	SPIRET, g	NOREV	TOLPO	BLIND, i	BEVEL	DIABEV, j	ANBEV, m	TAT, p	PITCH, h
Одиночные операции															
CDRILL	(+)	(1)	+	(2)	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-
DRILL	(+)	(+)	(+)	+	+	+	+	+	-	-	-	-	-	-	-
REAM	(+)	(+)	(+)	+	+	+	+	-	-	+	-	-	-	-	-
SISINK	(+)	(+)	(+)	+	+	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-
SINK	(+)	(+)	(+)	+	+	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-
COSINK	(+)	(1)	-	(2)	+	+	+	-	-	-	-	(+)	(+)	-	-
TAP	(+)	(+)	(+)	(1)	-	+	+	-	-	-	-	-	-	(2)	(2)
BORE	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	+	-	-	-	-	-	-	-	-
RECESS	(+)	-	-	(+)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MILL	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MAKE	(+)	-	-	(+)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Циклы обработки															
DRILL	-	(+)	(+)	-	-	-	-	-	+	-	1	2	2	-	-
REAM	-	(+)	(+)	-	-	-	-	-	+	+	1	2	2	-	-
SISINK	-	(+)	(+)	-	-	-	-	-	+	-	1	2	2	-	-
SINK	-	(+)	(+)	-	-	-	-	-	+	-	1	2	2	-	-
TAP	-	(+)	(+)	-	-	-	-	-	+	+	1	2	2	+	+

что равносильно заданию последовательности одиночных операций центрования, сверления, зенкерования и развертывания;
для сквозного отверстия (рис. 101, б)

Маркер = SINK/DIAMET, d, DEPTH, t,
TOOLPO, DIABEV, j, ANBEV, m,

что приведет к выбору операций центрования, сверления, зенкерования и зенкования;

для отверстия с резьбой (рис. 101, в)

Маркер = TAP/DIAMET, d, DEPTH, t,
BLIND, i, BEVEL, TAT, p, PITCH, h;

обработка его будет выполнена сверлением, зенкерованием и нарезанием резьбы метчиком.

Пример текста исходной информации для программирования в EXAPT 1 сверлильной операции изготовления детали (см. рис. 32 и 102) содержит следующие группы данных:

общие данные:

- 1 PARTNO/DECKEL
- 2 MACHIN/2R135F2
- 3 PART/MATERL, 1
- 4 TRANS/30, 85, 175,

в строках которых записано: 1 — Номер детали/Крышка; 2 — Станок/2Р135Ф2; 3 — Деталь/Материал, код 1; 4 — Связь систем координат/Координаты начала системы координат детали $x_0 = 30$ мм, $y_0 = 85$ мм и $z_0 = 175$ мм в системе координат станка;

геометрические определения:

- 5 P1 = POINT/70, 40, 0
- 6 ZSURF/0
- 7 K1 = CYRCLE/CENTER, P1, RADIUS, (70/2)
- 8 PAT1 = PATTERN/ARC, K1, 0, CCLW, 3
- 9 P2 = POINT/20, 20, 0
- 10 PAT2 = PATTERN/LINEAR, P2, AT, 130,

где записано: 5 — P1 = Точка/ $x = 70$ мм, $y = 40$ мм, $z = 0$; 6 — Плоскость Z/ $z = 0$; 7 — K1 = Окружность/Центр P1, Радиус (70/2); 8 — PAT 1 = Система точек/На дуге K1, Начальный угол 0° , Против часовой стрелки, Число точек 3; 9 — P2 = Точка/ $x = 20$ мм, $y = 20$ мм, $z = 0$ мм; 10 — PAT 2 = Система точек/На прямой P2, Приращение 130 мм;

технологические указания:

- 11 A1 = REAM/DIAMET, 10, DEPTH, 12, TOOLPO, DIABEV, 12, ANBEV, 45
- 12 A2 = TAP/DIAMET, 6, DEPTH, 12, BEVEL, TAT1,

определяющие циклы обработки отверстий: 11 — A1 = Развертывание / Диаметр 10 мм, Глубина 12 мм, Признак точного отверстия, Диаметр фаски 12 мм, Угол фаски 45° ; 12 — A2 = Нарезание резьбы/ Диаметр 6 мм, Глубина 12 мм, Фаска, Тип резьбы, код 1 (метрическая);

инструкции выполнения:

- 13 CLDIST/2
- 14 COOLNT/ON
- 15 WORK/A1
- 16 GOTO/PAT1
- 17 WORK/A2
- 18 GOTO/PAT2
- 19 FINI,

указывающие: 13 — Безопасное расстояние/2 мм; 14 — Охлаждение/Включить; 15 — Вызов операции/A1; 16 — Иди до/PAT 1; 17 — Вызов операции/A2; 18 — Иди до/PAT 2; 19 — Конечная запись.

В EXAPT 2 отражена специфика обработки на токарном станке. Обобщенные технологические указания записываются фразами, главные слова в которых определяют основные токарные операции: TURN — черновое многопроходное точение; CONT — проходы вдоль контура; GROOV — протачивание канавки; THREAD — нарезание резьбы. Модификаторы в этих фразах характеризуют условия обра-

ботки: направление подачи, инструмент и требования к обработке. Направление подачи вдоль оси вращения (рис. 103, а) обозначается словом LONG, перпендикулярно оси (рис. 103, б) — CROSS и под заданным углом к оси вращения (рис. 103, в) — ATANGL. В группу модификаторов, относящихся к инструменту, входят: TOOL, е, f — для определения номера инструмента (е) и номера его позиции (f).

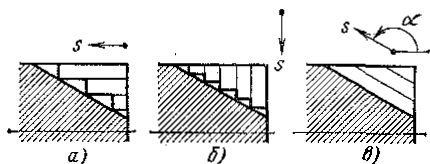


Рис. 103. Направления подачи, указываемые при программировании черновой обработки в EXAPT 2

в резцедержателе или магазине; SETANG, ω — указания угла установки инструмента относительно оси вращения; OSETNO, п — номер корректора. Требования к обработке задаются модификаторами: ROUGH — черновая, FIN — получистовая или FINE — чистовая. Из групп модификаторов, определяющих направление подачи и требования к обработке, в состав фразы технологического указания может войти только по одному слову. Возможные сочетания главных слов и модификаторов даны в табл. 35, обозначения в которой те же, что и принятые для табл. 34.

Таблица 35

Главные слова	Модификаторы													
	SO	LONG	CROSS	ATANGL	TOOL, e, f	SETANG, ω	DEPTH, t	FEED, s	SPEED, v	ROUGH	FIN	FINE	TAT, p	PITCH, h
TURN	(+)	(1)	(1)	(1)	(+)	(+)	+	+	+	(2)	(2)	(2)	-	-
CONT	(+)	1	1	1	(+)	(+)	+	+	+	(2)	(2)	(2)	-	-
GROOV	(+)	(1)	(1)	(1)	(+)	(+)	+	+	+	(2)	(2)	(2)	-	-
THREAD	(+)	(1)	(1)	(1)	(+)	(+)	+	-	(+)	(2)	(2)	(2)	(+)	(+)

Снимаемый в процессе обработки припуск ограничивается контурами детали и заготовки. В силу симметрии тел вращения описывается половина их продольного сечения. Контур описывается

в направлении обхода по часовой стрелке так, что каждая новая фраза добавляет к ранее заданному участку контура новый элемент. Контур при описании должны быть замкнуты. Участки контура, являющиеся проекциями цилиндрических и торцовых поверхностей, задаются упрощенно с помощью модификаторов DIA, d и PLAN, x. Геометрические определения контуров располагаются между фразами CONTUR/ и TERMCO. Модификаторы BLANCO и PARTCO в слове CONTUR показывают, что описываются исходная заготовка или готовая деталь. Определение контуров ведется в системе координат детали. Связь систем координат детали и станка задается фразами,

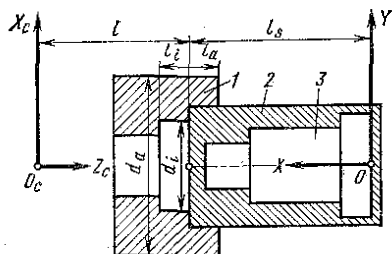


Рис. 104. Параметры установа, указываемые в EXAPT 2 для связи систем координат детали и станка

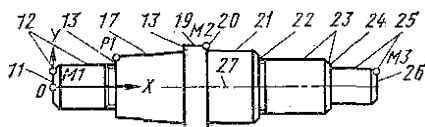


Рис. 105. Обозначение геометрических элементов для EXAPT 2

определяющими положение базы крепежного приспособления относительно начала системы координат станка

CHUCK/n, l, d_a , l_a , d_i , l_i

и положение системы координат детали относительно базы крепежного приспособления

CLAMP/ l_s , INVERS,

обозначение параметров в которых дано на рис. 104. В последней из этих фраз модификатор INVERS является признаком обратной ориентации детали (3) относительно ее расположения на чертеже детали при зажиме заготовки (2) в кулачках патрона (1).

Назначение упомянутых и некоторых других понятий входного языка EXAPT 2 поясняет пример программирования токарной операции изготовления вала (см. рис. 35 и 105), фрагменты текста исходной информации которого приведены по группам данных.

Общие данные:

1 PARTO/WALZE
2 MACHIN/16K20F3—N221
3 PART/MATERL, 4

где так же, как и в EXAPT 1, записано: 1 — Номер детали/Вал; 2 — Станок/16K20Ф3—N221; 3 — Деталь/Материал, код 4.

Описание контура заготовки:

4 CONTUR/BLANCO
5 BEGIN/0,0,YLARGE, PLAN, 0

6 RGT/DIA, 60
 7 RGT/PLAN, 210
 8 RGT/DIA, 0
 9 TERMCO

где записано: 4 — Контур/Контур заготовки; 4 — Начало/ $x = 0$, $y = 0$, Y больше, Вертикаль, $x = 0$; 6 — Вправо/Диаметр 60 мм; 7 — Вправо/Вертикаль, $x = 210$ мм; 8 — Вправо/Диаметр 0 (это фиктивный участок, замыкающий контур); 9 — Конец контура.

Описание контура детали:

10 CONTUR/PARTCO
 11 BEGIN/0, 0, YLARGE, PLAN, 0, BEVEL, 2
 12 M1, RGT/DIA, 30
 13 LET/PLAN, 40
 14 P1 = POINT/40, (40/2)
 15 A = ATAN (1/10)
 16 L1 = LINE/P1, ATANGL, A
 17 RGT/L1
 18 LFT/PLAN, 85
 19 RGT/DIA, 54
 20 M2, RGT/PLAN
 21 LFT/DIA, 50, BEVEL, 1
 22 RGT/PLAN, (210—75.4)
 23 LFT/DIA, 38, BEVEL, 1
 24 RGT/PLAN, (210—30)
 25 LFT/DIA, 23, BEVEL, 1
 26 M3, RGT/PLAN, 210
 27 RGT/DIA, 0
 28 TERMCO,

где в строках 10 и 28 записаны фразы начала и конца описания контура; в строке 14 точка P1 определена координатами $x = 40$ мм, $y = (40/2)$ мм; в строке 15 записано арифметическое определение $A = \arctg 1/10$; в строке 16 прямая L1 задана точкой P1 и углом, величина которого определена в строке 15; в строках 11—13 и 17—27 даны геометрические определения элементов контура детали, обозначенных номерами строк на рис. 105. Маркеры M1, M2 и M3 используются для последующих ссылок на ограниченные ими участки контура в инструкциях выполнения технологических указаний.

Далее заданы:

безопасное расстояние

29 CLDIST/2,

на которое недоходит инструмент при быстром его подводе в зону резания;

безопасная позиция

30 SAFPOS/220, 50,

в которой осуществляется смена инструмента;

припуск на обработку

31 OVSIZE/FIN, 0.5,

определяющий границу зоны черновой обработки;
параметры крепежного приспособления

32 CHUCK/810006, 180, 100, 30, 40, 30

расположение заготовки при ее закреплении в первом установе

33 CLAMP/0,

устанавливающие связь между системами координат детали и станка.
Технологические указания записаны в строках

34 A1 = TURN/SO, LONG, TOOL, 1, 1, OSETNO, 1,
SETANG, 90, ROUGH

35 A2 = CONT/SO, TOOL, 2, 2, OSETNO, 2, SETANG, 90,
FIN,

которые определяют: 34 — A1 = Точение/Одиночная операция, Направление подачи параллельно оси вращения, Инструмент номер 1 установлен в первой позиции резцедержателя, Корректор номер 1, Угол установки резца 90°, Черновая обработка; 35 — A2 = Проход вдоль контура/Одиночная операция, Инструмент номер 2 установлен во второй позиции резцедержателя, Корректор номер 2, Угол установки резца 90°, Получистовая обработка.

Инструкции выполнения технологических указаний заданы в строках

36 CUTLOG/BEVORE

37 COOLNT/ON

38 WORK/A1, A2

39 CUT/M1, TO, M2

означающих: 36 — Расположение инструмента/Перед осью вращения (эта фраза определяет квадрант обработки); 37 — Охлаждение/Включить; 38 — Вызов операций/A1 и A2; 39 — Обработать/Участок контура от M1 до M2.

Аналогично записываются технологические указания и инструкции их выполнения для обработки детали во втором установе.

Наряду с указанными САП комплекса EXAPT используется упрощенная модификация BASIC = EXAPT, в которой решаются преимущественно геометрические задачи, а технологические параметры обработки задаются в исходной информации с помощью несложных фраз. Эта САП применима практически для всех видов обработки без подготовки банка технологической информации и особенно удобна потребителям, осваивающим автоматизированную подготовку УП.

NELNC создана в Национальной инженерной лаборатории [11]. Ранее эта САП была известна под названием 2C, L, которое означает двухкоординатное (2) непрерывное (C) перемещение в плоскости, параллельной одной из координатных плоскостей, и линейное (L) перемещение по третьей координате, т. е. 2 1/2-координатную фрезерную обработку. Позже на основе 2C, L были разработаны ее модифи-

кации: 2Р, L для позиционной (Р) сверлильной и 2С — для токарной обработки. Во всех модификациях NELNC используются подмножества входного и промежуточного языков АРТ и общие модули для решения геометрических задач, а в отдельных модификациях — наборы типовых технологических схем обработки участков заготовки.

Национальное общество по автоматизации производства Франции создало два комплекса САП IFAPT и PROMO.

IFAPT разработан на базе АРТ в виде независимых модулей для программирования различных операций. Наиболее усовершенствован модуль для токарной обработки. Модуль для программирования обработки сложных поверхностей на многокоординатных фрезерных станках с ЧПУ известен под названием SURFAPT. Модуль MINIFAPT для позиционного сверления и прямоугольного фрезерования реализован на малой ЭВМ.

PROMO — универсальная САП для различного оборудования с ЧПУ. Исходная информация задается в упорядоченной словарно-табличной форме в диалоговом режиме. Диагностика каждой введенной фразы дает возможность оперативно обнаруживать и исправлять допущенные ошибки. Процессор PROMO решает в основном геометрические задачи. Технологическая информация задается в исходных данных технологом-программистом с использованием макрокоманд и подпрограмм, которые составлены заранее и хранятся в памяти ЭВМ. Технологические задачи решают процессоры T-TOUR для точения и T-POINT для сверления. Объединение этих технологических процессоров с PROMO образует САП PROTOUR и PROPOINT. В отдельных случаях возможности PROMO можно расширять, применяя специальные модули: MCP — для автоматизации определения проходов операций точения и фрезерования, MTP — для расчета машинного времени, GRAPIC — для вывода графической информации на дисплей и др. PROMO входит в состав ПМО сети ЭВМ и реализована также на малой ЭВМ, оснащенной дисплейным комплексом.

COMPACT II (США) — универсальная САП для станков с ЧПУ различных технологических групп. Она состоит из общего для всех станков процессора и блоков, аналогичных постпроцессорам, для каждого станка. Эта система имеет ряд специальных модулей, облегчающих подготовку и контроль исходной информации. Например, модули OPTIMILL для фрезерной и FASTURN для токарной обработки предусматривают типизацию задания как отдельных геометрических элементов, так и контуров, а также выбор типовых для конкретного потребителя схем обработки и режимов резания. Модуль REGALL позволяет накапливать библиотеку участков текста исходной информации, обращение к которой снижает трудоемкость программирования. Подготовка и коррекция текста исходной информации ведется в диалоговом режиме. COMPACT II входит в состав ПМО сети ЭВМ, с которой потребитель связывается через терминал с подключенным к нему графопостроителем.

MITURN (Нидерланды) — универсальная САП для токарных станков с ЧПУ, областью программирования которой являются по-

рядка 70 % деталей общего машиностроения — тел вращения, описываемых с помощью типовых геометрических элементов, аналогичных принятым в AUTOPROG. MITURN обеспечивает достаточно высокий уровень автоматизации программирования: на ЭВМ по заданным условиям обработки и описанию детали и заготовки выбирается последовательность переходов и проходов, инструмент и режимы резания.

Программирование в MITURN ведется отдельно для каждой установки. Метод описания детали и заготовки базируется на синтезе основных и вспомогательных форм, определяемых последовательностями параметров. На рис. 106 показаны некоторые из этих форм наружных и внутренних поверхностей: кодом 1 обозначен цилиндр, определяемый при описании детали набором параметров 1—8, а при описании заготовки — параметрами 1 и 4; кодом 3 обозначен конус, определяемый параметрами 1—7 при описании детали или параметрами 1, 2 и 5 при описании заготовки; код 5 соответствует цилиндрической поверхности с резьбой (рис. 106, а). Параметр 8 цилиндра и параметр 6 цилиндра с резьбой обозначают вспомогательные элементы — канавки, форма которых также определена кодами и наборами параметров (рис. 106, б).

Входной язык MITURN предусматривает возможность записи данных в упорядоченной словарной и табличной формах. Пример задания исходной информации в диалоговом режиме приведен в табл. 36 для программирования токарной обработки вала (см. рис. 35 и 107) во втором установе:

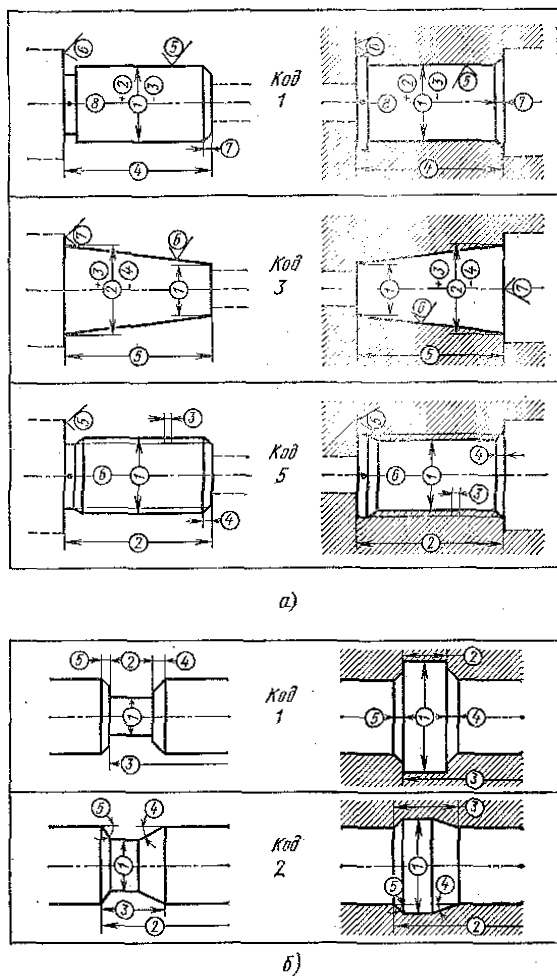


Рис. 106. Основные и вспомогательные элементы описания детали и заготовки в MITURN

Вопросы ЭВМ	Ответы технолога-программиста
ОБЩИЕ ДАННЫЕ	
ПРОГРАММИСТ И ДАТА?	РЕТРОВ 15—3—1979
НОМЕР ЧЕРТЕЖА?	SHAFT 101—10
РАЗМЕРНОСТЬ?	MM
МАТЕРИАЛ ЗАГОТОВКИ?	ST45
ДАнные ОБ УСТАНОВЕ	
MACH, TYPE, L1, L2, L3, L4, L5, L6?	3 20 200 5 190 100 0 2
MAT, MAC, MAS, RIC?	1 0.7 20 1
ЗАГОТОВКА	
ЧИСЛО НАРУЖНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ?	1
1 КОД ЭЛЕМЕНТА?	1
ЭЛЕМЕНТ 1 ЦИЛИНДР?	60 100
ЧИСЛО ВНУТРЕННИХ ЭЛЕМЕНТОВ?	0
ДЕТАЛЬ	
ЧИСЛО НАРУЖНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ?	3
3 КОДА ЭЛЕМЕНТОВ?	5 3 1
ЭЛЕМЕНТ 1 ЦИЛИНДР С РЕЗЬБОЙ?	30 40 1.5 2 0 2
ЭЛЕМЕНТ 2 КОНУС?	40 49 0 0 45 2.5 40
ЭЛЕМЕНТ 3 ЦИЛИНДР?	54 0 0 15 40 40 0 0
КОЛИЧЕСТВО КАНАВОК?	1
КАНАВКА 1?	27.8 40 6 30 90
ЧИСЛО ВНУТРЕННИХ ЭЛЕМЕНТОВ?	0
ПРИМЕЧАНИЯ	
?	MITURN EXAMPLE

Исходная информация состоит из пяти разделов. 1-й раздел содержит четыре фиксированные строки общих данных; первые две служат для идентификации УП, в третьей указывается единица измерения величин (миллиметры или дюймы), в четвертой — марка материала заготовки. Во 2-м разделе в двух фиксированных строках приводятся данные об установке: MACH означает код станка с ЧПУ; TYPE — вид обработки (в рассматриваемом примере код 20 означает обработку в патроне с поддержкой задним центром); L1 — расстояние от выступающего края крепежного приспособления до торца шпинделя; L2 — безопасное расстояние до узла станка; L3 — длина консоли заготовки; L4, L5 — длина обрабатываемой части поверх-

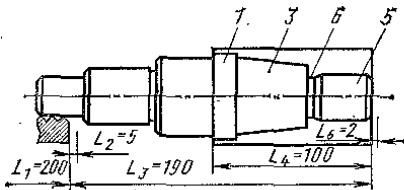


Рис. 107. Параметры установки, указываемые в исходной информации MITURN

стояние от выступающего края крепежного приспособления до торца шпинделя; L2 — безопасное расстояние до узла станка; L3 — длина консоли заготовки; L4, L5 — длина обрабатываемой части поверх-

ностей детали соответственно наружной и внутренней; L6 — безопасное расстояние до заготовки; MAT — код типа стружки: 1 — сливная, 2 — элементная; MAC — коэффициент обрабатываемости в пределах 1 до 0,01, пропорционально которому выбирается скорость резания; MAS — отношение глубины резания к подаче, по которому на ЭВМ для заданного припуска выбирается подача; RIC — коэффициент использования мощности станка, влияющий на выбор сечения стружки при черновой обработке. В 3-м разделе описывается заготовка. Описание ведется поэлементно в направлении от свободного конца заготовки к патрону отдельно для наружных и внутренних поверхностей. В 4-м разделе в том же порядке описываются обрабатываемые поверхности детали: их составные элементы обозначены кодами 1, 3, 6, 5 на рис. 107. В 5-м разделе дается комментарий.

В расчетах на ЭВМ используется постоянная информация о станках, инструментах и материалах. Последовательность переходов зависит от формы детали и заготовки. Припуск вычисляется раздельно для наружной и внутренней обработки. Если заданный допуск оказывается меньше, чем вычисленный припуск на чистовую обработку, процессор САП автоматически вводит пробный проход с последующим остановом для контроля и коррекции положения инструмента. Этот участок записывается в УП кадрами, исключаемыми по усмотрению оператора станка с ЧПУ. Подача для черновой обработки выбирается с учетом сечения стружки и мощности привода главного движения. Для чистовой обработки подача определяется параметрами шероховатости с учетом радиуса закругления при вершине инструмента. Скорости резания рассчитываются с помощью стойкостных зависимостей для обрабатываемого материала заготовки и материала режущей части инструмента.

Простая структура входного языка, небольшой объем данных, а также наличие диагностических подпрограмм позволяют применять подготовленные на ЭВМ УП без дополнительного контроля. Наряду с большим числом индивидуальных постпроцессоров для различных станков с ЧПУ в MITURN имеется универсальный постпроцессор, с помощью которого потребители могут формировать собственные постпроцессоры по паспортным данным используемых станков. MITURN введена в состав ПМО развитой сети ЭВМ и доступна в режиме разделения времени широкому кругу потребителей в Западной Европе. В США эта САП применяется под названием GETURN.

MINIAPT (ФРГ) представляет собой упрощенную редакцию АРТ для плоской позиционной и 2 1/2-координатной непрерывной обработки. Входной и промежуточный языки этой САП являются подмножествами соответствующих языков АРТ. В процессе программирования используется банк постоянной информации. MINIAPT реализована на больших и малых ЭВМ и предусматривает различные организационные формы использования — на вычислительном центре предприятия с помощью собственной ЭВМ или в системе разделения времени через терминал от сети ЭВМ, а также на устанавливаемой в БПУ малой ЭВМ.

Развитие АРТ привело к разработке дополняющих друг друга модулей для программирования 2 1/2-и многокоординатной фрезерной обработки позиционного сверления, токарной и других видов обработки. В частности, из этих модулей собраны три современные модификации АРТ, заменившие AUTOSPOT, ADAPT и первую версию АРТ: АРТ-ВР для позиционной и простой контурной обработки, АРТ-1С для 2 1/2-координатной обработки и АРТ-АС для многокоординатной обработки. Каждая последующая из указанных модификаций АРТ имеет возможности предыдущей и требует ЭВМ большей мощности.

САП на малых ЭВМ

Первые САП для станков с ЧПУ на малых ЭВМ представляли собой упрощенные САП, эксплуатируемые на больших ЭВМ. Из отечественных разработок в этой области можно назвать САПО для токарных станков, реализованную на вычислительном комплексе в составе настольной клавишной ЭВМ с накопителем на магнитной ленте и УПДЛ с ЭПМ [23]. При этом трудности, связанные с реализацией ПМО на небольших объемах оперативной памяти малых ЭВМ, были преодолены сегментированием ПМО и подготовкой УП по этапам с выводом промежуточных результатов на перфоленду, как это, например, имеет место в AUTOTECH/SYMAP (ГДР), или магнитную ленту, используемую для этих целей в PROMO и MINIAPT. Большая продолжительность подготовки УП на малых ЭВМ из-за сегментации ПМО и невысокого быстродействия ЭВМ ограничила область применения таких САП производствами с небольшим числом станков с ЧПУ, где, кроме программирования изготовления относительно несложных деталей, САП на малых ЭВМ используются и для редактирования УП, подготовляемых с помощью САП на больших ЭВМ.

Совершенствование малых ЭВМ в направлении повышения их быстродействия, объема оперативной памяти, появление новых средств долговременной памяти на флоппи-дисках, оснащение малых ЭВМ агрегатированными внешними устройствами, в том числе дисплеями, создающими определенный комфорт при работе технолога-программиста в режиме диалога с ЭВМ, стимулировало разработку многочисленных САП, ориентированных на такие вычислительные комплексы. Они называются «программаторами» или «рабочими местами программиста». Наиболее известны AUTOPROGRAMMER, EASYPROG, AUTOPIT-2, PROGRAMAT и ECODATA (ФРГ), ELAN (Франция), INTERAPT (США), FAPT (Япония), GTL и MODAPT (Италия).

AUTOPROGRAMMER является программатором, состоящим из настольной клавишной ЭВМ, перфоратора, устройства считывания информации на перфоленде и печатающего устройства. Он предназначен для программирования на низком уровне автоматизации и редактирования УП для токарных и других станков с ЧПУ. При программировании, которое ведется на языке числовых кодов, имеется возможность обращаться к участкам ранее отлаженных УП.

EASYPROG первоначально разработана как САП для токарных станков. Позже она была усовершенствована и стала применяться для других видов двухкоординатной позиционной и непрерывной обработки. Программирование ведется на среднем уровне автоматизации в двух режимах: групповом и диалоговом. Структура этой комплексной универсальной САП построена по принципу процессор-постпроцессор. Входной и промежуточный языки являются подмножествами языков АРТ. Основными средствами ВТ служат малая ЭВМ с клавиатурой для ввода текстовой информации и внешней памятью на магнитной ленте, кассетах или дисках, устройство ввода-вывода информации на перфоленте, устройство печати и графопостроитель. Предусмотрена возможность использования текстового дисплея.

AUTORIT-2 — современная редакция **AUTORIT**. Она по своим возможностям идентична **EXART 2**, имеет версию с немецкой базой входного языка и реализована на большой и малой ЭВМ, а также используется потребителями единой сети ЭВМ в режиме разделения времени. В состав рабочего места программиста входит малая ЭВМ с долговременной памятью на магнитных дисках, телеайп с широкой печатью, устройство ввода-вывода информации на перфоленте и графический дисплей.

PROGRAMAT — это агрегируемый комплекс средств вычислительной техники и ПМО, из которого составляются различные наборы от простейшего для перфорацииготавливаемых вручную УП до наиболее полного, включающего малую ЭВМ с накопителем на магнитных дисках, ЭПМ, устройство считывания информации на перфоленте, перфоратор, печатающее устройство, графопостроитель и видеотерминалы, с помощью которых организуется параллельный диалоговый режим работы нескольких технологов-программистов. ПМО **PROGRAMAT** состоит из ряда модулей: **DREHEN** для токарной обработки, **BZ** — для сверлильной и двухкоординатной фрезерной обработки, **SZ** — для вырубки, газорезательной и электроэрозионной обработки, представляющих собой отдельные САП со структурой процессор-постпроцессор, а также модуля **EDITOR** для редактирования исходной информации и УП.

ECODATA — комплексная САП для токарной, сверлильной и двухкоординатной фрезерной обработки, реализованная на малой ЭВМ с комплектом устройств для диалогового режима работы до восьми технологов-программистов одновременно. Исходная информация вводится с клавиатуры буквенно-цифровыми кодами операций и геометрических элементов со значениями их параметров. Результаты расчета выводятся на экран графического дисплея для контроля и коррекции. Для упрощения программирования потребитель может использовать собственные макрокоманды, реализующие типовые, характерные для конкретного предприятия, схемы обработки. Универсальность **ECODATA** обеспечивается структурой процессор-постпроцессор.

ELAN является универсальной САП токарной, сверлильной и плоской фрезерной обработки. Она разработана применительно

к настольной клавишной ЭВМ с долговременной памятью на магнитных дисках, укомплектованной устройствами ввода-вывода информации на перфоленте и графопостроителем. Программирование в диалоговом режиме разделено на три этапа: 1) описание геометрических элементов и вычерчивание контуров детали и заготовки на графопостроителе; 2) задание технологических циклов и вычерчивание траектории инструментов на графопостроителе; 3) постпроцессирование и вывод УП на перфоленту с ее распечаткой.

INTERAPT является редакцией АРТ, приспособленной для программирования многокоординатной фрезерной обработки в диалоговом режиме на малой ЭВМ, оснащенной графическим дисплеем. В процессе подготовки УП на экране дисплея высвечиваются варианты геометрических определений элементов контура, и после задания требуемого варианта с необходимыми параметрами результат расчета контура появляется на экране в плоском или объемном изображении. Далее выбирается требуемый инструмент, и на экране высвечивается его траектория. Визуальный контроль исходных данных и результатов расчета позволяет оперативно обнаруживать и исправлять ошибки в процессе программирования.

FAPT входит в состав ПМО компактного вычислительного комплекса для автоматизации подготовки и редактирования УП. Вычислительный комплекс представляет собой конструктивно совмещенные настольную ЭВМ, графический дисплей, функциональную и текстовую клавиатуры, внешнюю кассетную память на магнитной ленте, устройства печати и ввода-вывода информации на перфоленте. FAPT содержит модули для отдельных видов обработки: FAPT TURN — токарной, FAPT MILL — сверлильно-фрезерной, FAPT DIE — объемной фрезерной, FAPT CUT — электроэрозионной. Эти модули по существу являются универсальными САП для соответствующих технологических групп станков с ЧПУ. Кроме перечисленных, предусмотрены служебные модули: TAPE EDITOR для организации ввода-вывода информации на различных носителях и редактирования УП, FANUC DOCTOR для диагностирования неисправностей вычислительного комплекса и FAPT TEACHER для программированного обучения входному языку и работе с программатором. Требуемые модули вводятся в память ЭВМ с магнитной кассеты. В процессе программирования исходная информация набирается на клавиатуре в терминах входного языка АРТ и рядом с высвеченным на экране текстом вычерчиваются определяемые контуры и траектории инструментов для визуального контроля и исправления обнаруженных ошибок.

GTL состоит из двух универсальных САП: CTL-T для токарных станков и GTL-3 для обрабатывающих центров с общим входным языком геометрического и технологического описания изготовления деталей. ПМО GTL реализовано на настольной клавишной ЭВМ со встроенными текстовым дисплеем, тепловой печатью, долговременной памятью на флоппи-дисках и подключенными к ней стандартными внешними устройствами ввода-вывода информации на различных носителях. Входной язык GTL построен на базе англий-

ского языка, близок по структуре к языку АРТ, но в отличие от него более лаконичен и удобен для описания геометрических элементов. В этой части язык GTL напоминает входной язык PROFILEDATA, в котором одним из параметров геометрических определений служит направление элемента. По возможностям решения технологических задач эти САП характеризуются средним уровнем автоматизации программирования. Так, траектория инструмента в GTL-T определяется по заданным обобщенным схемам обработки участков заготовки, а в GTL-3 — по заданным параметрам типовых форм отверстий и других обрабатываемых участков, схемы обработки которых занесены в каталог постоянной технологической информации. Исходная информация вводится с клавиатуры, посточно высвечивается на экране текстового дисплея для контроля и выводится на печать. На рис. 108 приведен эскиз детали с обозначениями геометрических элементов. Распечатка текста исходной информации, полученная при программировании в GTL-I токарной операции обработки вала (см. рис. 35, 36) во втором установе приведена ниже

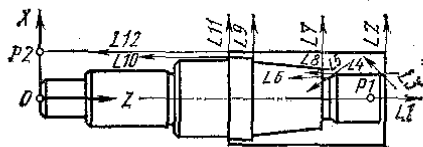


Рис. 108. Обозначение геометрических элементов для GTL-T

```

0010 SVS/CPR, CC
0020 P1 = Z200/X0
0030 P2 = Z0, X60
0040 L1 = P1, A0
0050 L2 = LX, Z210
0060 L3 = Z210, X26, A135
0070 L4 = -LZ, X30
0080 L5 = Z174, X27.8, A-150
0090 L6 = -LZ, X27.8
0200 L7 = LX, Z170
0110 L8 = Z170, X40, Z70, X60
1120 L9 = LX, Z125
1130 L10 = -LZ, X54
0140 L11 = LX, Z110
0150 L12 = -LZ, X60
0160 PF1 = P1, L1, L2, L3, L4, L5, L6*
0170 L7, L8, L9, L10, L11, L12, P2
0180 PF2 = P1, L1, L2, L12, P2
0190 CTUR/Z260, X260
0200 OUS.5/L4, L10
0210 TL 1/FA1, SD2, CLNT, CORR4
0220 RUGH/L4, L10, PARA
0230 TL2/FA2, SD2, CLNT, CORR5
0240 FINI/L3, L10
0250 TOOL4/CODE3, CS50, FR1.5, M4*
0260 PZ-22, PX-88, ANG 90, METR
0270 TL4/FA4, SD3, CLNT, CORR6
0280 THRD/Z210, X30, LENG-351*
0290 NPASS, WDCL4
0300 PLOT/S.75, D100, L240, ALL
0310 UST2 * * 22/4/1981
0320 END

```


В строках этого текста записано: 1 — указание системе (SYS) о выводе на печать результатов геометрических расчетов (CPR) и контроле коллизии (CC), т. е. проверке отсутствия столкновений инструмента с заготовкой при его перемещениях на быстром ходу; 2 и 3 — точки P1 и P2 заданы координатами z и x ; 4 — прямая L1 задана точкой P1 и углом (A) 0° с осью вращения (направление прямой определяется углом); 5, 10, 12 и 14 — прямые L2, L7, L9 и L11 параллельны оси X и заданы координатами z (направление прямой определяется осью координат со знаком); 6 и 8 — прямые L3 и L5 заданы координатами z и x точек и углами (A); 7, 9, 13, и 15 — прямые L4, L6, L10 и L12 параллельны оси Z и заданы координатами x ; 11 — прямая L8 задана координатами z и x двух точек (направление прямой принимается от первой заданной точки ко второй); 16 и 17 — контур PF1 (детали) задан от точки P1 последовательностью прямых L1—L12 до точки P2; 18 — контур PF2 (заготовки) задан от точки P1 последовательностью прямых L1, L2 и L12 до точки P2; 19 — исходное положение резцедержателя (CTUR) задано координатами его базовой точки в системе координат детали $z = 260$ мм и $x = 260$ мм; 20 — припуск на окончательную обработку (OUS) 0,5 мм задан для участка контура детали, определенного прямыми L4—L10; 21, 23 и 27 — условия работы инструментов TL1, TL2 и TL4: номер позиции (FA), безопасное расстояние (SD), работа с охлаждением (CLNT), номер корректора (CORR); 22 — черновая обработка (ROUGH) участка контура детали, определенного прямыми L4—L10, проходами, параллельными оси вращения (PARA); 24 — окончательная обработка (FINI) участка контура детали, определенного прямыми L3—L10; 25 и 26 — параметры инструмента TL4: код (CODE) 3 (кодом обозначается назначение инструмента: 1 — черновая обработка, 2 — чистовая обработка, 3 — нарезание резьбы, 4 — проточка канавок и т. д.), скорость резания (CS) 50 м/мин, подача (FR) 1,5 мм/об, направление вращения шпинделя против часовой стрелки указано вспомогательной функцией M4, координаты вершины инструмента в системе координат инструмента с началом в базовой точке резцедержателя $z = -22$ мм и $x = -88$ мм, угол установка (ANG) 90° , тип резьбы — метрическая (METR); 28 и 29 — нарезание резьбы (THRD) проходами от точки с координатами $z = 210$ мм и $x = 30$ мм влево на длину (LENG) 35 мм, число проходов (NPAS) 5, ширина канавки для выхода резьбового резца (WDCL) 4 мм; 30 — указание о вычерчивании (PLOT) в масштабе (S) 0,75, поле чертежа ограничено диаметром (D) 100 мм и длиной (L) 240 мм, прочертить контуры детали и заготовки, а также траектории инструментов во всех переходах (ALL); 31 — комментарий с наименованием УП и датой; 32 — конец текста (END). В данном тексте описан только инструмент TL4, а остальные инструменты наладки определены при программировании токарной операции обработки этой детали в первом установе, и их параметры хранятся на магнитном диске.

В соответствии с указанием в первой строке текста исходной информации печатается таблица (табл. 37) параметров заданных геометрических элементов контура детали и заготовки, используемая

N	E	n	z_i	x_i	$A(z+)$	D
PF1						
1	L	1	200.0000	0.0000	0.0000	0.0000
2	L	2	210.0000	0.0000	90.0000	210.0000
3	L	3	210.0000	13.0000	135.0000	157.6848
4	L	4	208.0000	15.0000	180.0000	15.0000
5	L	5	175.9053	15.0000	-150.0000	-74.9622
6	L	6	174.0000	13.9000	180.0000	13.9000
7	L	7	170.0000	13.9000	90.0000	170.0000
8	L	8	170.0000	20.0000	174.2894	36.8164
9	L	9	125.0000	24.5000	90.0000	125.0000
10	L	10	125.0000	27.0000	180.0000	27.0000
11	L	11	110.0000	27.0000	90.0000	110.0000
12	L	12	110.0000	30.0000	180.0000	30.0000
13	P	2	0.0000	30.0000		
PF2						
1	L	1	200.0000	0.0000	0.0000	0.0000
2	L	2	210.0000	0.0000	90.0000	210.0000
3	L	12	210.0000	30.0000	180.0000	30.0000
4	P	2	0.0000	30.0000		

для контроля. Эта таблица содержит графы: N — номер строки, E — тип элемента, n — номер элемента, z_i и x_i — координаты точки начала элемента, $A(z+)$ — угол наклона прямой к оси вращения или z_c — аппликата центра окружности, D — расстояние от начала координат по нормали до прямой или x_c — абсцисса центра окружности, R — радиус окружности. Знак D определяет положение прямой слева или справа от начала координат, как это показано на рис. 109. Далее по указанию в строке 30 текста в том же выходном документе прочерчиваются с помощью тепловой печати (рис. 110) контуры детали и заготовки и траектории инструментов при черновой обработке, чистовой обработке и нарезании резьбы, а также печатается содержание кадров УП с указанием параметров инструментов, продолжительности их работы и общего времени работы станка по УП в автоматическом цикле.

MODART — модификация ART для малой ЭВМ, оснащенной полным набором внешних устройств, включая графические дисплеи. MODART охватывает широкую область программирования плоской и объемной позиционной и непрерывной обработки на станках с ЧПУ практически всех технологических групп. В состав ПМО MODART входят выполненные в виде модулей транслятор с входного языка и геометрический процессор, технологический процессор, постпроцессоры, специальные модули для решения задач

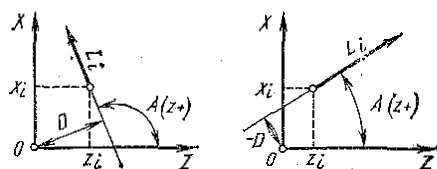
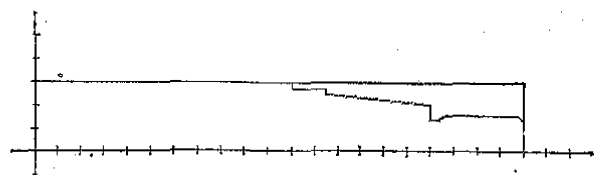


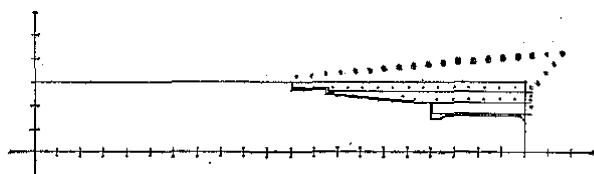
Рис. 109. Параметры геометрических элементов контура в GTL-T

многокоординатной фрезерной обработки точно-заданных поверхностей, служебные модули для выдачи сопроводительной документации, графического изображения обрабатываемых поверхностей и траектории инструмента на экране дисплея и графопостроителе,

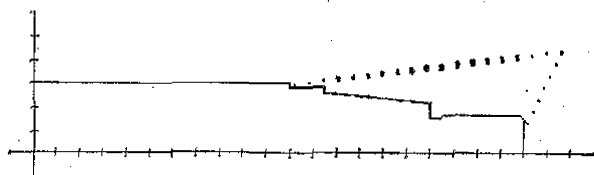
FINISH AND ROUGH PROFILES



PATH TOOL N.1 ROUGHING



PATH TOOL N.2 FINISHING



PATH TOOL N.4 THREADING

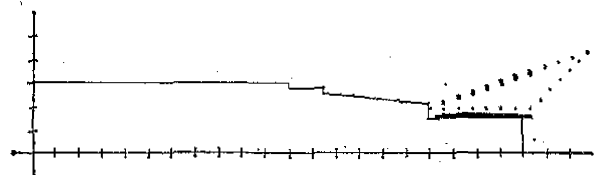


Рис. 110. Контуры детали и заготовки и рассчитанной траектории инструментов в GTL-T

а также библиотеки инструментов с рекомендуемыми режимами резания и библиотеки технологических циклов. Диалоговый режим подготовки УП с использованием средств графического изображения позволяет осуществлять контроль всех этапов программирования и редактировать исходную информацию, промежуточные результаты расчета и кадры УП.

САП на малых ЭВМ разрабатываются и для условий работы автоматизированных комплексов из станков с ЧПУ. К числу таких САП относится отечественная СПУП-АСК предназначенная для автомати-

зации подготовки УП изготовления корпусных деталей на участке станков типа АСК [12]. Программирование в этой САП ведется в диалоговом режиме с ЭВМ, которая входит в состав средств вычислительной техники участка и решает задачи технологической подготовки производства, планирования и диспетчирования. В основу СП УП-АСК положена конструктивно-технологическая классификация элементов общемашиностроительных корпусных деталей. Для обработки типовых элементов деталей этого класса предложены типовые технологические переходы, реализованные в виде простых, групповых, комбинированных и сложных технологических циклов. Каждый цикл структурно разбит на четыре функциональных подцикла: *I*, *G*, *R* и *T*. В подцикле *I* определена логика выбора нормализованного инструмента, в подцикле *G* — схема инструментального перехода и алгоритмы для расчета координат опорных точек траектории инструмента, в подцикле *R* — режимы резания и в подцикле *T* — технологические и вспомогательные команды для УЧПУ. Применение специального инструмента требует задания в исходной информации его параметров (диаметра и длины) и режимов резания. При задании исходной информации технолог-программист использует чертеж детали, маршрутную карту, схему зажима заготовки в приспособлении и каталог типовых технологических циклов.

Входной язык СПУП-АСК — специализированный с записью данных в табличной или канонической формах, между которыми имеется однозначное соответствие. Для сокращения объема исходных данных предусмотрена возможность повторения строк с внесением необходимых изменений. Возможно также включать в состав исходных данных строки с кодами УЧПУ, что позволяет использовать вготавливаемых УП их отдельные ранее отлаженные части. Библиотеки технологических циклов, станков и инструментов образуют информационную базу системы. Обращение к ней производится по указанным в исходной информации кодам.

СПУП-АСК построена по блочно-модульному принципу со структурой препроцессор-процессор-постпроцессор и внутренним промежуточным языком обмена информацией между модулями. Особенностью СПУП-АСК является возможность отображения исходных, промежуточных и выходных данных на экране дисплея и исправление их в режиме диалога, а также проверка и редактирование УП на станке с использованием выносного пульта связи с ЭВМ. Выходная документация приспособлена к условиям работы автоматизированного участка.

Современные отечественные разработки САП на малых ЭВМ ориентируются на применение автоматизированных рабочих мест (АРМ) на базе ЭВМ серии СМ.

Организация подготовки УП и требования к САП

Подготовка УП является частью технического обеспечения эксплуатации станков с ЧПУ, осуществляемого в БПУ предприятий и КЦПП.

В состав БПУ входят группы технологического обеспечения, разработки и внедрения УП, а также математического обеспечения. Группа технологического обеспечения осуществляет подбор номенклатуры деталей и отработку на технологичность их изготовления на станках с ЧПУ, составление технических заданий на проектирование специальной технологической оснастки, проведение технико-экономических расчетов и оформление заданий на подготовку УП. Группа разработки и внедрения УП проектирует операционные технологические процессы изготовления деталей и, используя различные методы программирования, ведет подготовку и редактирование УП, а также проверку УП в производственных условиях. Основное назначение группы математического обеспечения — использование САП, подготовка и поддержание банка технологической информации и организация разработки постпроцессоров по договорам с КЦПП.

КЦПП организованы в крупных промышленных центрах страны для централизованной подготовки УП по заказам предприятий, входящих в их зону обслуживания. Кроме подготовки УП и разработки постпроцессоров для всех типов станков с ЧПУ, задачами КЦПП являются обучение специалистов предприятий методам автоматизированной подготовки УП, решение комплекса технологических и организационных вопросов, связанных с программированием и экспериментальной проверкой специальных случаев обработки, а также оказание технической помощи предприятиям в обосновании потребности, приобретении и освоении станков с ЧПУ.

Оптовую цену УП, подготовленную с помощью ЭВМ в КЦПП, можно ориентировочно определить по табл. 38 [16]. При разработке УП заводским БПУ расходы сокращаются приблизительно на 30 % за счет уменьшения объема документооборота и исключения командировок специалистов КЦПП для согласования технических условий и внедрения УП. Поэтому основной объем работ подготовки УП

Таблица 38

Назначение УП	Постоянная составляющая стоимости УП	Стоимость одного кадра УП	Среднее число кадров в УП	Средняя стоимость одного кадра УП с учетом постоянной составляющей, руб.
	руб.			
Точение:				
в центрах	3,50	0,26	120	0,29
в патроне	4,00	0,31	120	0,34
Фрезерование:				
2 1/2-координатное	3,00	0,30	230	0,31
многокоординатное	4,50	0,45	240	0,47
Сверление	2,00	0,17	75	0,20
Растачивание	4,50	0,50	140	0,53
Обработка на многоинструментных станках	9,00	0,88	600	0,89

целесообразно выполнять в БПУ предприятий, а за помощью к КЦПП следует обращаться при освоении новых станков с ЧПУ, смене выпускаемой продукции и программировании изготовления сложных деталей. Отсутствие на предприятии собственной ЭВМ не является причиной отказа от автоматизированных методов подготовки УП, так как практически всегда имеется возможность аренды машинного времени ЭВМ на других близлежащих предприятиях.

В заключение следует отметить, что основной объем работ по подготовке УП в настоящее время выполняется с помощью ЭВМ. В связи с этим особое значение приобретают технико-экономические показатели САП. Анализ отечественного и зарубежного опыта разработки ПМО, автоматизирующего программирование технологических процессов для станков с ЧПУ, позволяет сформулировать основные требования к современным САП, которые должны обеспечивать: эффективность подготовки УП для небольших серий деталей: качество УП, характеризуемое рациональностью принимаемых на ЭВМ технологических решений с оптимизацией траектории инструментов и режимов резания; надежность УП, позволяющую исключить или значительно сократить этапы контроля и редактирования УП; оперативность программирования, минимизирующую его продолжительность от задания до внедрения УП; адаптацию к условиям производства путем расширения банка постоянной технологической информации и получения на ЭВМ требуемых форм технической документации УП; универсальность программирования изготовления широкого круга деталей на различных уровнях автоматизации, включая реализацию обобщенных и подробных указаний технолога-программиста; преемственность ПМО при смене поколений ЭВМ и развитии САП; комфорт, обусловленный возможностью подготовки УП на различных режимах работы ЭВМ с использованием разнообразных средств ВТ для ввода, контроля, редактирования и вывода управляющей информации.

ПРИЛОЖЕНИЕ

Коды главных и вспомогательных слов записей промежуточного языка «процессор — постпроцессор»

1. КОДЫ ГЛАВНЫХ СЛОВ

Тип	Назначение	Главное слово	Подтип
1000	Идентификация указаний исходных данных	CARDNO	
2000	Задание команд для постпроцессора	END	1
		STOP	2
		OPSTOP	3
		RAPID	5
		RETRGT	7
		DRESS	8
		GOHOME	17
		HEAD	1002
		MODE	1003
		CLEARP	1004
		REWIND	1006
		CUTCOM	1007
		FEDRAT	1009
		DELAY	1010
		OPSKIP	1012
		MACHIN	1015
		MCHTOL	1016
		ROTABLE	1026
		ORIGIN	1027
		GOOLNT	1030
		SPINDL	1031
		THREAD	1036
		PPRINT	1044
		RARTNO	1045
		INSERT	1046
		COUPLE	1049
		PITCH	1050
		CYCLE	1054
		LOADTL	1055
		SELCTL	1056
		CLAMP	1074
		PPFUN	1079
		SAFPOS	1094
5000	Описание положения инструмента	FROM	3
		GOTO	5
9000	Задание многокоординатной обработки	MULTAX	2
14000	Указание о конце информации	FINI	
15000	Описание криволинейной траектории инструмента	CIRCLE	

2. КОДЫ ВСПОМОГАТЕЛЬНЫХ СЛОВ

Вспомогательное слово	Код	Употребляется в записях
BORE5	209	CYCLE
BORE6	210	CYCLE
BORE7	211	CYCLE
BORE8	212	CYCLE
BORE9	213	CYCLE
BOTH	83	HEAD
BRKCHP	288	CYCLE
CCLW	59	ROTABL SPINDL
CLW	60	ROTABL SPINDL
CUTANG	160	THREAD
CUTS	511	THREAD
DEEP	153	CYCLE
DEPTH	510	THREAD
DIAMET	509	LOADTL
DRILL	163	CYCLE
DWELL	279	CYCLE
FACE	81	CYCLE
FIHCUT	512	THREAD
INCR	66	ROTABL
INVERS	6	CLAMP
LEFT	8	CUTCOM
LENGTH	9	CUTCOM LOADTL
MANUAL	158	LOADTL
MMPM	315	FEDRAT CYCLE
MMPR	316	FEDRAT CYCLE
MULTRD	119	THREAD
OFF	72	THREAD
ON	71	CUTCOM OPSKIP
ORIENT	246	COOLNT SPINDL CYCLE
OSETNO	508	CUTCOM OPSKIP
RANGE	145	COOLNT SPINDL CYCLE
RAPTO	280	CYCLE SPINDL
REV	97	THREAD LOADTL
RIGHT	24	FEDRAT SPINDL
SETOOL	155	CYCLE
SMM	505	DELAY
TAP	168	CUTCOM
THRU	152	LOADTL
TOOL	3017	SPINDL
TURN	80	CYCLE
XCOORD	116	CYCLE
XYPLAN	33	LOADTL
YCOORD	117	THREAD
YZPLAN	37	CUTCOM
ZCOORD	118	CLEARP CUTCOM
ZXPLAN	41	CUTCOM
		CUTCOM

Список литературы

1. Автоматизированные комплексы из станков с ЧПУ с централизованным управлением от ЭВМ для обработки корпусных деталей/А. М. Брон, Б. С. Воскобойников, С. С. Черников, Е. В. Шашков М.: НИИМАШ, 1977, 68 с.
2. Берман А. М. Технологически-ориентированная универсальная система машинного программирования для станков с ЧПУ. — Станки и инструмент, 1980, № 12, с. 11—15.
3. Васильев В. С., Розниов А. Г. Перспективы развития систем ЧПУ металлорежущими станками. — Станки и инструмент, 1978, № 9, с. 3—5.
4. Вульфсон И. А., Осипова С. С. Системы подготовки управляющих программ для станков с ЧПУ М.: НИИМАШ, 1973. 112 с.
5. Гусев А. П., Евгеньев Г. Б., Рапопорт Г. Н. Групповое управление станками от ЦВМ. М.: Машиностроение, 1974. 304 с.
6. Дерябин А. Л. Метод расчета режимов резания при помощи ЭВМ. — Стандарты и качество, 1966, № 6, с. 13—15.
7. Дерябин А. Л. Подготовка управляющих программ для станков с ЧПУ. — В кн.: Числовое программное управление металлорежущими станками. М.: НИИМАШ, 1970, с. 89—119.
8. Дерябин А. Л. Решение технологических задач в системе программирования токарных станков (СПТС). — В кн.: Автоматизация программирования и кодирования в машиностроении. М.: Наука, 1969, с. 9—13.
9. Евгеньев Г. Б. Принципы построения системы автоматического программирования обработки объемных деталей на фрезерных станках. — В кн.: Автоматизация программирования и кодирования в машиностроении. М.: Наука, 1969, с. 14—19.
10. Зазерский Е. И., Жолнерчик С. И. Технология обработки деталей на станках с программным управлением. Л.: Машиностроение, 1975. 208 с.
11. Использование станков с программным управлением. Пер. с англ./Под ред. В. Лесли. М.: Машиностроение, 1976. 421 с.
12. Кирьянов В. Н., Брон А. М. Автоматизация технологической подготовки для обработки корпусных деталей на автоматизированных участках из станков с ЧПУ, управляемых от ЭВМ. — Станки и инструмент, 1980, № 12, с. 15—19.
13. Мясников В. А., Игнатьев М. Б., Покровский А. М. Программное управление оборудованием. Л.: Машиностроение, 1974. 540 с.
14. Никитенко В. Д. Подготовка программ для станков с числовым программным управлением. М.: Машиностроение, 1973. 240 с.
15. Общемашиностроительные нормативы режимов резания резцами с механическим креплением многогранных твердосплавных пласт ин. Обработка на станках с ЧПУ. М.: НИИМАШ, 1978. 56 с.
16. Определение экономической эффективности металлорежущих станков с ЧПУ. Инструкция. МУ 2.5—81. М.: НИИМАШ, 1981. 104 с.
17. Осипова С. С. Структура системы подготовки управляющих программ на ЦВМ для станков сверлильно-расточной группы СПС-К. — В кн.: Технология, новые методы и автоматизация обработки металлов. М.: ЭНИМС, 1971, с. 43—49.
18. Перцов Г. Н. Комплексная автоматизация технологической подготовки производства деталей типа тел вращения на участках из станков с ЧПУ, управляемых от ЭВМ. — Станки и инструмент, 1980, № 12, с. 19—21.
19. Ратмиров В. А. Основы программного управления станками. М.: Машиностроение, 1978. 240 с.

20. Симоненков В. И. Устройство отладки управляющих программ на станках с ЧПУ. — В кн.: Оборудование с числовым программным управлением. М.: НИИМАШ, 1976, вып. 3, с. 16—19.

21. Тамм Б. Г. Система автоматического программирования для металлорежущих станков. — Автоматика и телемеханика, 1961, № 8, с. 25—29.

22. Шарин Ю. С. Подготовка программ для станков с ЧПУ. М.: Машиностроение, 1980. 144 с.

23. Шустов В. И. Подготовка управляющих программ для токарных станков с ЧПУ на малой ЭВМ. — Станки и инструмент, 1978, № 9, с. 34—37.

24. Эстерзон М. А. Основы построения операционной технологии для автоматизированных систем подготовки программ управления станками с ЧПУ. — Станки и инструмент, 1980, № 12, с. 9—10.

25. Шрайбман С. М., Эстерзон М. А. Технологическая подготовка обработки корпусных деталей на многоинструментных станках с ЧПУ. Рекомендации/Под. ред. М. Е. Юхвида. М.: ЭНИМС, 1978. 50 с.

Введение	3
--------------------	---

1 Технические условия подготовки управляющих программ	4
1.1. Этапы подготовки УП	4
Структура технологического процесса	4
Уровни автоматизации подготовки УП	7
1.2. Технологическая документация	8
Справочная документация	9
Исходная документация	11
Сопроводительная документация	11
1.3. Детали, станки и системы ЧПУ	13
Изготавливаемые детали	13
Станки с ЧПУ	15
Системы числового программного управления	17

2 Типовые технологические решения	24
2.1. Обработка контуров и поверхностей	24
Схемы обработки контуров	25
Схемы обработки плоских поверхностей	26
Схемы объемной обработки	30
2.2. Обработка тел вращения	31
Последовательность проходов	32
Обработка винтовых поверхностей	34
2.3. Обработка отверстий	37
Последовательность переходов	37
Схемы обработки отверстий	40

3 Расчет управляющих программ	44
3.1. Системы координат	44
Система координат детали	44
Система координат станка	45
Система координат инструмента	50
Связь систем координат	50
3.2. Элементы траектории инструмента	54
Расчет опорных точек контура детали	55
Расчет опорных точек траектории инструмента	74
Аппроксимация дуги окружности	84
Аппроксимация таблично-заданных кривых	86
3.3. Скорости движения рабочих органов станка	89
Скорость резания	90
Скорость подачи	91

4	Кодирование и запись управляющих программ	94
4.1.	Структура и формат УП	94
	Номер кадра	94
	Подготовительные функции	95
	Размерные перемещения	98
	Функция подачи и скорость главного движения	102
	Функция инструмента	104
	Вспомогательные функции	104
	Формат УП	104
4.2.	Кодирование элементов УП	107
	Кодирование участков траектории	107
	Коррекция инструмента	110
	Кодирование подпрограмм	112
4.3.	Запись УП на программноноситель	114
	Программононосители и коды	114
	Структура программноносителя	117
	Запись, контроль и редактирование УП	118

5	Системы автоматизации программирования	120
5.1.	Принципы автоматизации подготовки УП	120
	Характеристики САП	120
	Структура и основные блоки САП	125
	Задание исходной информации	127
	Промежуточный язык «процессор-постпроцессор»	143
5.2.	Промышленные САП	153
	Первые поколения САП	153
	Современные САП на больших ЭВМ	181
	САП на малых ЭВМ	202
	Организация подготовки УП и требования к САП	209
	Приложение. Коды главных и вспомогательных слов записей промежуточного языка «процессор—постпроцессор»	212
	Список литературы	214
	Предметный указатель	216