

ВЫСШЕЕ ОБРАЗОВАНИЕ – БАКАЛАВРИАТ

серия основана в 1996 г.



МЕЩЕРЯКОВА В.Б.

СТАРОДУБОВ В.С.

МЕТАЛЛОРЕЖУЩИЕ СТАНКИ С ЧПУ

УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ

*Допущено
Учебно-методическим объединением по университетскому
политехническому образованию в качестве
учебного пособия для студентов высших учебных заведений,
обучающихся по направлению подготовки бакалавров
15.03.02 (151000) «Технологические машины и оборудование»*

Электронно-
Библиотечная
Система
znanium.com

Москва
ИНФРА-М
2015

УДК 62(075.8)
ББК 65.304.15я73
М56

ФЗ № 436-ФЗ	Издание не подлежит маркировке в соответствии с п. 1 ч. 4 ст. 11
----------------	---

Рецензенты:

П.М. Кузнецов — д-р техн наук, проф., зав. кафедрой «Автоматизация производства и проектирования в машиностроении» Открытого университета им. В.С. Черномырдина;
А.П. Кузнецов — канд. техн наук, доцент РГБОУ ВПО МГТУ «Станкин»

Мешерякова В.Б., Стародубов В.С.

М56

Металлорежущие станки с ЧПУ: Учеб. пособие. — М.: ИНФРА-М, 2015. — 336 с. — (Высшее образование: Бакалавриат). — www.dx.doi.org/10.12737/5721.

ISBN 978-5-16-005081-2 (print)

ISBN 978-5-16-102068-5 (online)

В учебном пособии рассмотрены различные способы управления металлорежущими станками, даны принципы построения и возможности систем ЧПУ. Представлены особенности компоновок и конструкций станков с ЧПУ, способы расширения их технологических возможностей, повышения производительности, точности и надежности.

Рассмотрены задачи, решаемые при подготовке управляющих программ, особенности технологической подготовки, математических расчетов и контроля УП. Даны основы программирования для станков с ЧПУ, способы настройки, особенности технологического обслуживания и ремонта.

Предназначено для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлениям 151900 «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств» (квалификация — бакалавр) и 151000 «Технологические машины и оборудование» (квалификация — бакалавр) по профилю подготовки «Металлорежущие станки и комплексы», а также для подготовки в лицеях, техникумах, на специальных курсах операторов станков с ЧПУ, членов ремонтных бригад, технологов-программистов.

ББК65.304.15я73

ISBN 978-5-16-005081-2 (print)

ISBN 978-5-16-102068-5 (online)

© Стародубов В.С.,
Мешерякова В.Б., 2015

Подписано в печать 25.09.2014.

Формат 60×90/16. Бумага офсетная. Гарнитура Newton.

Печать офсетная. Усл. печ. л. 21,0. Уч.-изд. л. 22,41.

Тираж 500 экз. Заказ №

ТК 475650-363500-250914

ООО «Научно-издательский центр ИНФРА-М»

127282, Москва, ул. Полярная, д. 31В, стр. 1

Тел.: (495) 280-15-96, 280-33-86. Факс: (495) 280-36-29

E-mail: books@infra-m.ru

<http://www.infra-m.ru>

РАЗДЕЛ 1

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О МЕТАЛЛОРЕЖУЩИХ СТАНКАХ С ЧПУ

1.1. ТИПОВЫЕ ДЕТАЛИ, ИЗГОТАВЛИВАЕМЫЕ НА СТАНКАХ С ЧИСЛОВЫМ ПРОГРАММНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ (ЧПУ)

В машиностроении необходимо изготавливать большое количество различных деталей, на базе которых создаются механизмы и машины. При этом детали изготавливаются в разном количестве (массовое, крупносерийное, среднесерийное и мелкосерийное производство), из различных материалов (сталь, чугун, различные цветные сплавы), могут иметь простую или сложную форму, изготавливаются с различной точностью размеров и шероховатостью обрабатываемых поверхностей.

При изготовлении деталей в массовом и крупносерийном производстве должен обеспечиваться выпуск большого количества одинаковых деталей (сотни тысяч и даже миллионы штук). Это, например, шарикоподшипники, болты, винты, шайбы и другие детали. При их изготовлении применяют высокопроизводительные полуавтоматы, автоматы, автоматические линии, цеха-автоматы и даже заводы-автоматы, которые без переналадки должны в течение длительного срока изготавливать одинаковые детали с высокой производительностью. Однако таких деталей в машиностроении относительно немного (20–25%). Большая же часть деталей изготавливается в среднесерийном и мелкосерийном производстве в небольших количествах (несколько сотен или даже несколько десятков штук). При этом разновидность этих деталей (размеры, форма, материал, точность обработки) очень большая. Поэтому металлорежущие станки, на которых изготавливаются данные детали, должны быть широкоуниверсальными и иметь высокую мобильность (быструю переналаживаемость на изготовление других деталей). Долгое время (до появления станков с ЧПУ) автоматизация управления таких станков была затруднена. Во многих случаях приходилось жертвовать производительностью этих станков с целью получения большей мобильности.

На рис 1.1 приведено примерное распределение в машиностроении номенклатуры изготавливаемых деталей.

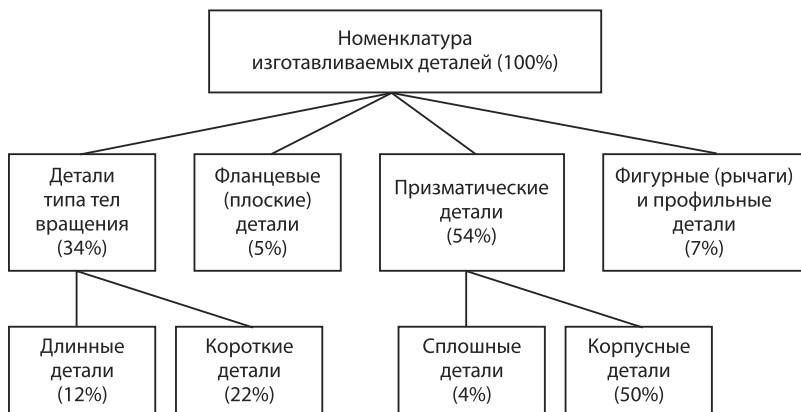


Рис. 1.1. Общая структура изготавливаемых деталей на металлорежущих станках с ЧПУ

Детали типа тел вращения могут быть длинными, тогда необходимо применять при их изготовлении на токарных станках с ЧПУ заднюю бабку для поддержания второго конца детали, а иногда еще и люнет (специальное приспособление, поддерживающее заготовку в средней части, чтобы она не прогибалась во время обработки от сил резания). Часто такие детали требуют только токарной обработки (обточки разных диаметров, точения канавок, фасок, подрезки торцов и др.).

В тех случаях, когда на таких деталях необходимо обрабатывать еще шпоночные пазы, сверлить отверстия, фрезеровать поверхности, требуется их дополнительная обработка на сверлильном и фрезерном станках.

При обработке коротких деталей (типа валиков, фланцев, штуцеров и др.) может также требоваться только токарная обработка, но с необходимостью обработки криволинейных поверхностей и центральных отверстий с одной стороны. В этом случае на токарном станке с ЧПУ производится полная обработка, в том числе сверление и расточка центральных отверстий невращающимся инструментом, установленным в задней бабке или револьверной головке. Здесь проблемой является обработка криволинейных поверхностей, когда требуется перемещение режущего инструмента одновременно по двум координатам (X и Z) по определенной траектории (рис. 1.2, *a*).

Однако много коротких деталей типа тел вращения требуют кроме токарной обработки сверления отверстий не только по центру, но и по окружности, сверления поперечных отверстий, фрезерования шпоночных пазов и шестигранников и др. (рис. 1.2, *б*). При этом требуется обработка с двух сторон (за два установка). В этом случае также требуется обработка либо на нескольких станках (токарном,

сверлильном, фрезерном), либо необходимо иметь на токарном станке с ЧПУ возможность поворота на определенный угол шпинделя с заготовкой по координате C и установки в револьверной головке станка вращающихся инструментов (сверла, фрезы), а для обработки с двух сторон на одном станке иметь кроме основного шпинделя еще и протившпиндель.

Изготовление фланцевых (плоских) деталей производится на сверлильных, фрезерных и координатно-расточных станках с вертикальной компоновкой шпинделя с возможностью одновременного перемещения стола, салазок и шпиндельной бабки с инструментом (координаты X, Y, Z). Обработка заготовки производится в большинстве случаев с одной стороны, но большим количеством различных режущих инструментов (рис. 1.2, *в*).

При обработке очень сложных объемных деталей с криволинейным профилем требуется управление одновременно по трем координатам, а в отдельных случаях — по четырем и даже по пяти координатам; тогда дополнительно необходимо применять поворотный стол, иногда и два стола, и иметь возможность поворачивать шпиндель (или шпиндельную бабку) на определенный угол.

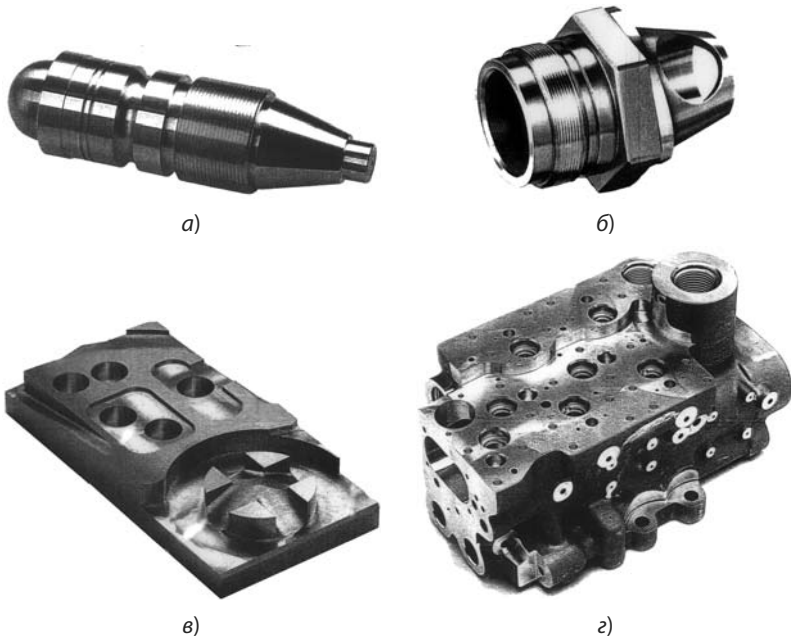


Рис. 1.2. Типовые детали, изготавливаемые на токарных станках с ЧПУ (*а* и *б*) и на многоцелевых станках (*в* и *г*) с вертикальной и горизонтальной компоновкой шпинделя

До появления станков с ЧПУ изготовление таких деталей было очень трудоемким и производилось на разных универсальных станках с управлением ими вручную операторами высокой квалификации.

Большой группой изготавливаемых деталей являются корпусные детали (рис. 1.2, з). Их особенностью является необходимость обработки большого количества отверстий и плоскостей, расположенных практически со всех сторон детали. В этом случае чаще всего необходимо применять станки с горизонтальной компоновкой шпинделя и с поворотным столом, что позволяет обрабатывать деталь с четырех сторон. Изготовление таких деталей требует применения большого количества различных режущих инструментов и возможности совмещения на одном станке и черновой, и чистовой обработки. При изготовлении таких деталей на станке с вертикальной компоновкой шпинделя применяются два стола: поворотный (на 360°) и наклоняемый (в пределах до 180°).

Условные обозначения марок материалов, из которых изготавливаются детали в машиностроении, приведены в работе.

1.2. ОСНОВНЫЕ ВИДЫ ОБРАБОТКИ ЗАГОТОВОК И ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ МЕТАЛЛОРЕЖУЩИХ СТАНКОВ С ЧПУ

Формообразование поверхностей заготовок точением осуществляется двумя движениями: вращательным движением заготовки (главное движение резания) и поступательным движением реза (движение подачи) (рис.1.3).

Данная обработка производится на токарных станках с ЧПУ, которые могут быть токарно-револьверные, токарно-карусельные и др. (рис.1.4).

Заготовка на *токарно-револьверных* станках устанавливается и зажимается в патроне (или в цанге) на шпинделе *1* станка (рис.1.4, *а*) и получает вращательное движение с заданной частотой, определяемой выбранной скоростью резания (в токарно-карусельных станках заготовка устанавливается на вращающейся карусели *1*). Режущие инструменты устанавливаются на суппортах или в револьверной головке *2* и получают движение подачи параллельно оси вращения заготовки (продольная подача по координате *Z*), перпендикулярно оси вращения заготовки (поперечная подача по координате *X*).

Токарные станки по технологическому назначению и типам обрабатываемых заготовок подразделяют на центровые, патронные, патронно-центровые, карусельные, прутковые.

Центровые станки служат для обработки заготовок типа валов с прямолинейными и криволинейными контурами. Обрабатываются только наружные поверхности заготовок. Для поддержания правого

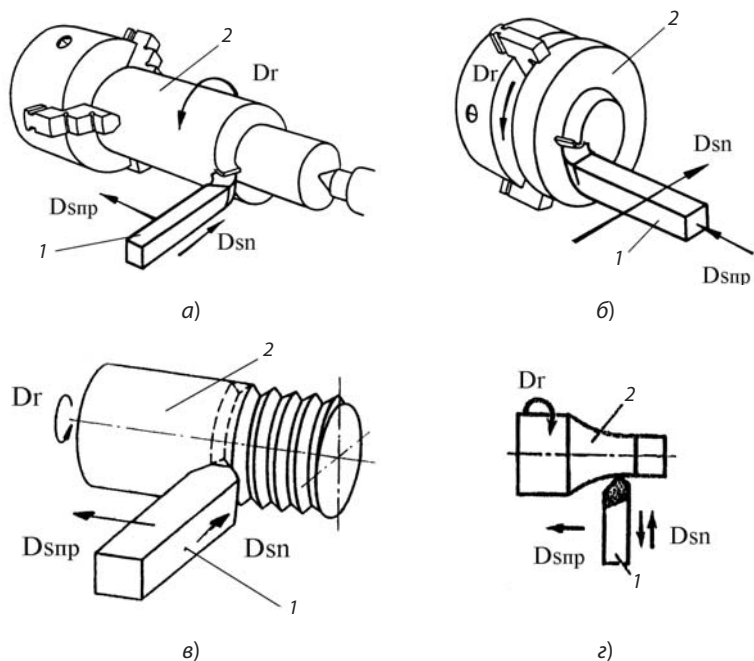


Рис. 1.3. Схемы формообразования поверхностей резанием на токарных станках:

а — продольная обработка; *б* — поперечная обработка; *в* — нарезание резьбы; *г* — обточка фасонной поверхности; 1 — инструмент; 2 — заготовка

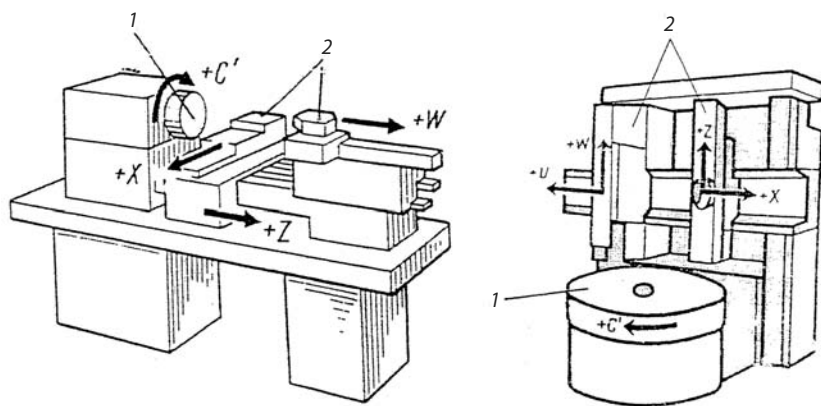


Рис. 1.4. Примеры токарных станков:
а — токарно-револьверный; *б* — токарно-карусельный

конца изготавливаемого вала и снижения его прогиба на станке применяется задняя бабка, а при значительной длине применяется люнет.

Патронные станки служат для обработки заготовок типа зубчатых колес, фланцев, шкивов. Обрабатываются как наружные, так и внутренние поверхности.

Токарно-карусельные станки (рис. 1.4, б) предназначены для обработки крупных, тяжелых заготовок, у которых отношение длины (высоты) заготовки к диаметру составляет 0,3–0,5. Это заготовки рабочих колес водяных и газовых турбин, зубчатых колес, маховиков. Особенностью станков является наличие круглого стола-карусели *1* с вертикальной осью вращения.

В *прутковых* токарных станках с ЧПУ в качестве заготовки применяются прутки длиной порядка 3 м.

Для увеличения количества устанавливаемых режущих инструментов (не только резцов, но и сверл, фрез, метчиков) и сокращения времени смены этих инструментов на токарных станках с ЧПУ устанавливают одну, две и иногда три револьверные головки. Такие станки получили название *токарные многоцелевые* станки. На некоторых таких станках устанавливается также противошпиндель.

Различные виды обработки отверстий на заготовках осуществляются вращающимся режущим инструментом (сверла, зенкеры, зенковки, развертки, расточные головки, метчики и др.), установленным в шпинделе станка (рис. 1.5).

В начальный период разработки станков с ЧПУ выпускались сверлильные станки с ЧПУ (например, мод. 2Р135Ф2 и др.). В настоящее время выпускаются в основном сверлильно-фрезерно-расточные станки с ЧПУ, называемые многоцелевыми станками, с горизонтальной и вертикальной компоновкой шпинделя (рис. 1.6). На этих станках кроме обработки обычных отверстий может производиться расточка точных отверстий и фрезерование поверхностей.

Как указывалось выше, обработка различных отверстий, а также фрезерование поверхностей могут производиться и на токарных многоцелевых станках с ЧПУ.

Типовые схемы обработки поверхностей заготовок *фрезерованием* показаны на рис. 1.7.

Режущий инструмент (фреза) устанавливается в шпинделе станка и получает вращательное (D_r) движение, а заготовка устанавливается на столе станка и получает продольное ($D_{спр}$) и поперечное ($D_{сп}$) перемещения. Вертикальное ($D_{св}$) перемещение получает шпиндельная бабка или консольный стол.

Фрезерные станки с ЧПУ выпускаются как специализированные (в том числе и с револьверной головкой) для обработки деталей в инструментальном производстве (типа штампов), деталей в авиационной промышленности и др.

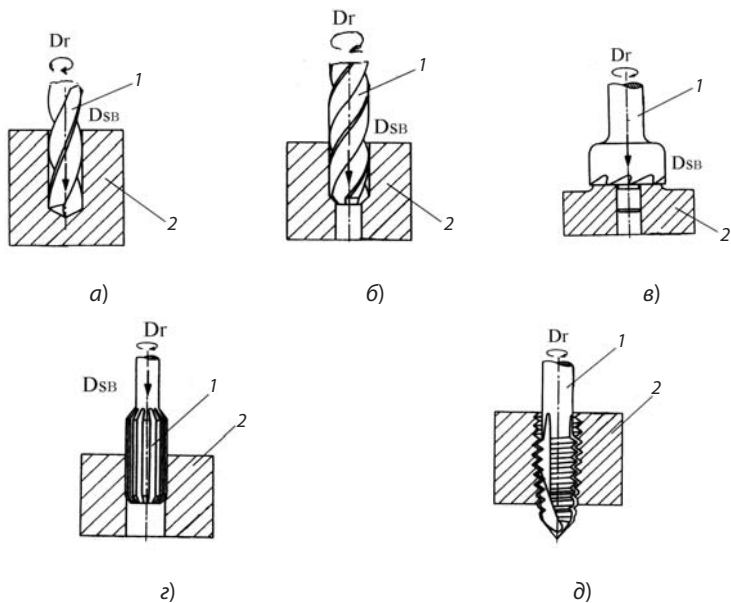


Рис. 1.5. Схемы обработки отверстий:
a — сверлом; *б* — зенкером; *в* — цековкой; *г* — цилиндрической разверткой;
д — метчиком; 1 — инструмент, 2 — заготовка

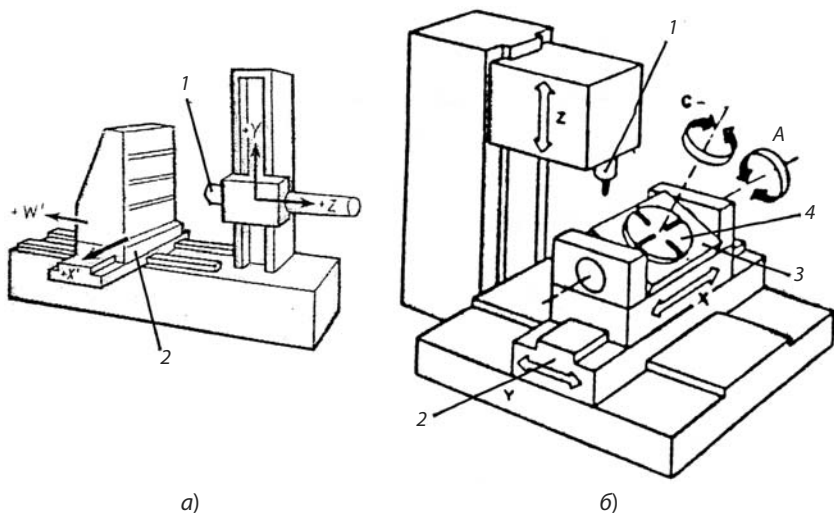


Рис. 1.6. Примеры многоцелевых станков:
a — с горизонтальной компоновкой шпинделя; *б* — с вертикальной компоновкой шпинделя; 1 — шпиндель; 2 — крестовый стол; 3, 4 — поворотные столы

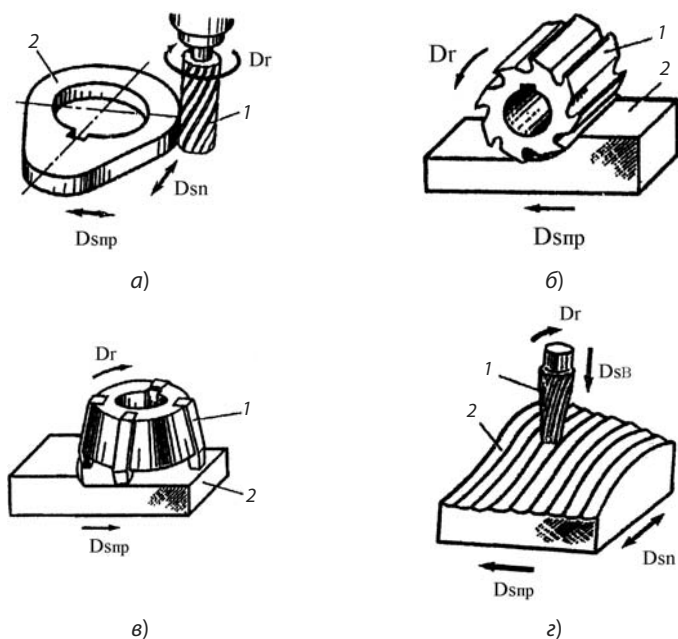


Рис. 1.7. Схемы формообразования поверхностей фрезерованием:
 а — концевой фрезой; б — цилиндрической фрезой; в — торцевой фрезой;
 г — фасонной концевой фрезой; 1 — инструмент; 2 — заготовка

Обработка поверхностей фрезерованием чаще применяется в многоцелевых станках с ЧПУ совместно с обработкой отверстий (в том числе и на токарных станках).

Шлифование является одним из видов обработки резанием, осуществляемым абразивным инструментом — шлифовальным кругом. Его применяют для чистовой и отделочной обработки заготовок с высокой точностью. Для заготовок из закаленных сталей шлифование является одним из наиболее распространенных методов окончательного формообразования (рис. 1.8).

При *плоском шлифовании* (рис. 1.8, а) возвратно-поступательное перемещение заготовки 2 относительно шлифовального круга 1 необходимо для обеспечения продольной подачи $D_{спр}$. Для обработки поверхности на всю ширину заготовка или круг должны иметь движение поперечной подачи $D_{сп}$. Периодически происходит и движение подачи $D_{св}$ на глубину резания.

Движения, осуществляемые при внутреннем шлифовании, показаны на рис. 1.8, б).

На некоторых внутришлифовальных станках с ЧПУ применяется револьверная головка с несколькими кругами.

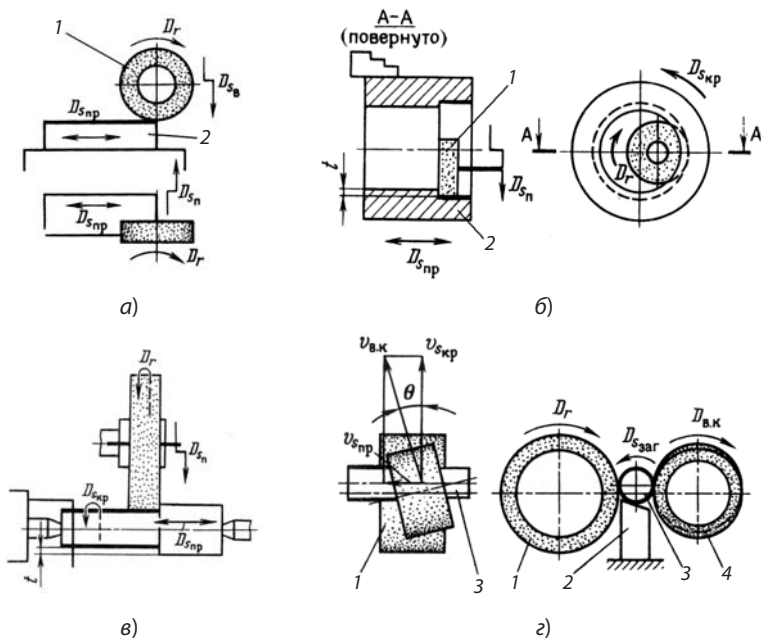


Рис. 1.8. Схемы обработки на шлифовальных станках:
 а — на плоскошлифовальных станках; б — на внутришлифовальных станках;
 в — на круглошлифовальных станках; г — на бесцентровошлифовальных станках;
 1 — шлифовальный круг; 2 — нож; 3 — заготовка; 4 — ведущий круг

При *круглом шлифовании* (рис. 1.8, в) движение продольной подачи обеспечивается возвратно-поступательным перемещением заготовки. Вращение заготовки является движением круговой подачи $D_{скр}$.

При *бесцентровом шлифовании* (рис. 1.8, г) заготовка 3 обрабатывается в незакрепленном состоянии. Ее устанавливают на нож 2 между двумя кругами — шлифующим 1 и ведущим 4. Эти круги вращаются в одном направлении, но с разными скоростями. Трение между ведущим кругом и заготовкой больше, чем между ней и рабочим кругом. Вследствие этого заготовка увлекается во вращение со скоростью, близкой к окружной скорости ведущего круга.

Перед шлифованием ведущий круг устанавливают наклонно под углом θ ($1-7^\circ$) к оси вращения заготовки. Вектор $v_{в.к}$ скорости этого круга разлагается на составляющие, и возникает скорость движения подачи $v_{спр}$. Поэтому заготовка перемещается по ножу вдоль своей оси и может быть прошлифована на всю длину. Чем больше угол θ , тем больше подача.

На рис. 1.9 показаны кругло- и плоскошлифовальные станки и основные движения в них. *Круглошлифовальный станок* состоит из

следующих основных узлов (рис. 1.9, а): станины 2, стола 3, передней бабки 4 с коробкой скоростей, шлифовальной бабки 5, задней бабки 1.

Наибольшее распространение получили методы шлифования на центрах (см. рис. 1.8, в). Возможно консольное закрепление заготовок в кулачковых патронах.

На *плоскошлифовальном* станке (рис. 1.9, б) заготовка устанавливается на столе 2, который имеет возвратно-поступательное движение по направляющим станины 1. Шлифовальный круг установлен в шпиндельной бабке 3, имеющей вертикальное перемещение на стойке 4, которая, в свою очередь, имеет поперечное перемещение по направляющим станины 1.

Большую группу изготавливаемых деталей составляют различные типы зубчатых колес. Обработка заготовок зубчатых колес осуществляется несколькими методами, среди которых наибольшее применение получил метод обкатки (рис. 1.10, а, б).

Он основан на зацеплении зубчатой пары: режущего инструмента и заготовки. Режущие кромки инструмента имеют профиль зуба сопряженной рейки или сопряженного колеса. Боковая поверхность зуба на заготовке образуется как огибающая последовательных положений режущих кромок инструмента в их относительном движении (рис. 1.10, б). Метод обкатки обеспечивает непрерывное формообразование зубьев колеса.

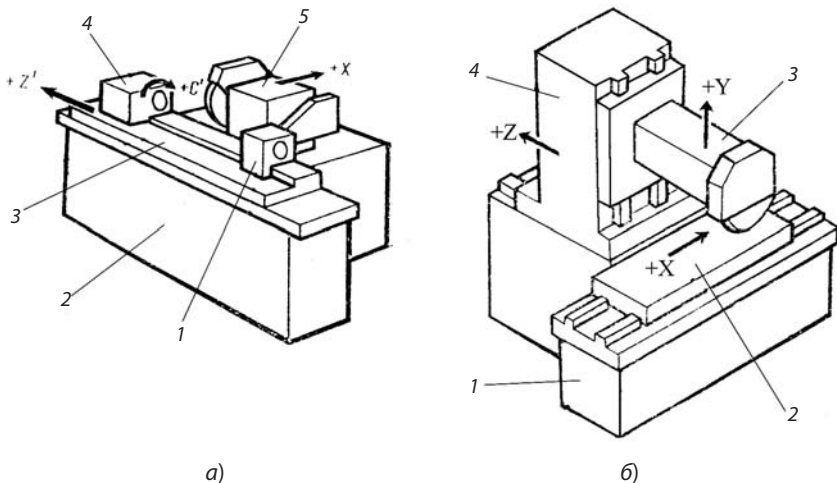


Рис. 1.9. Примеры шлифовальных станков:

а — круглошлифовальный; б — плоскошлифовальный с горизонтальным шпинделем

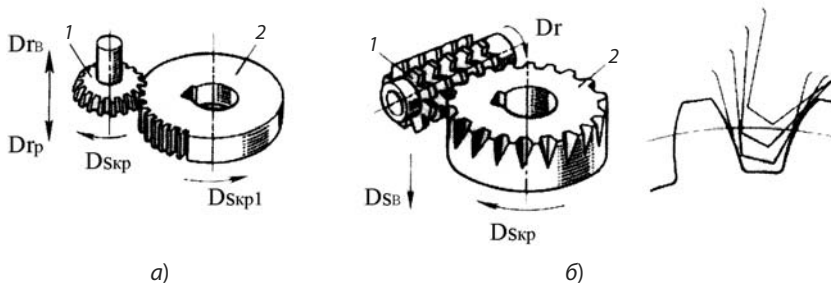


Рис. 1.10. Примеры схем формообразования зубчатых колес:
 а — зуборезным долбяком; б — червячной модульной фрезой;
 1 — инструмент; 2 — заготовка

Наиболее широкое распространение в промышленности получили зубообрабатывающие станки, работающие по методу обкатки: зубофрезерные, зубодолбежные и зубострогальные.

Зубофрезерные станки предназначены для нарезания цилиндрических колес внешнего зацепления с прямыми и косыми зубьями и червячных колес. На рис. 1.11, а показана компоновка и основные движения зубофрезерного полуавтомата. На станине 1 слева установлена неподвижная стойка 2. Фрезу, закрепленную на оправке, устанавливают в шпинделе фрезерного суппорта 3, который перемещается по вертикальному направляющему стойки. Суппорт может поворачиваться в вертикальной плоскости. Заготовку закрепляют на оправке вращающегося стола 6. На корпусе стола, перемещаемом по горизонтальным направляющим станины, установлены задняя

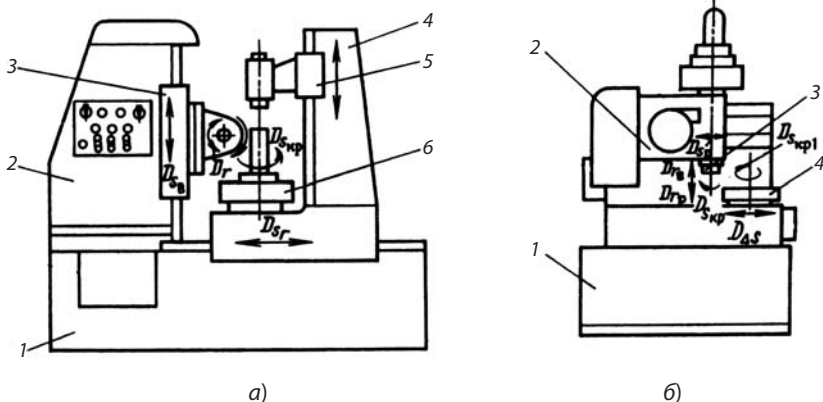


Рис. 1.11. Примеры зубообрабатывающих станков:
 а — зубофрезерный; б — зубодолбежный

стойка 4 с подвижным кронштейном 5 для поддержания верхнего конца оправки.

Зубодолбежные станки предназначены для нарезания цилиндрических зубчатых колес внешнего и внутреннего зацепления с прямыми и косыми зубьями (рис. 1.11, б). На этих же станках можно нарезать блоки зубчатых колес с малым расстоянием между венцами колес, а также шевронные колеса.

Долбяк, закрепленный в шпинделе 3, получает вращательное и одновременно возвратно-поступательное движение. Суппорт 2 перемещается по направляющим станины 1 в поперечном направлении. Заготовку закрепляют на шпинделе стола 4 и сообщают ей вращательное движение. Кроме того, заготовка имеет возвратно-поступательное движение в горизонтальной плоскости для отвода заготовки от долбяка перед каждым его вспомогательным ходом.

В настоящее время все более широкое применение получают зубофрезерные и зубодолбежные станки с ЧПУ.

Формообразование поверхности заготовок *строганием* (рис. 1.12, а) характеризуется наличием двух движений: возвратно-поступательного резца 1 (скорость движения резания) и прерывистого прямолинейного движения подачи заготовки 2, направленного перпендикулярно к вектору главного движения. Процесс резания при строгании прерывистый, и удаление материала происходит только при прямом рабочем ходе. Во время обратного (вспомогательного) хода резец работу не

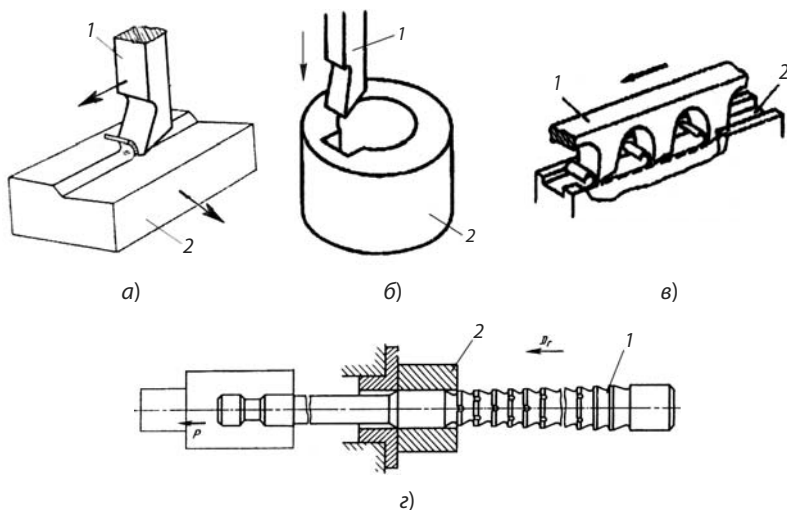


Рис. 1.12. Примеры схем формообразования:
 а — строгальным резцом; б — долбяком; в — плоской протяжкой;
 г — круглой протяжкой

производит. Прерывистый процесс резания способствует охлаждению инструмента, что исключает в большинстве случаев применение смазочно-охлаждающей жидкости (СОЖ).

Разновидностью строгания является *долбление*, где главное движение резания — возвратно-поступательное совершает резец *1* в вертикальной плоскости (рис. 1.12, б). Заготовка *2* имеет прерывистую подачу.

Строгальные станки предназначены для обработки резцами плоских поверхностей, канавок, фасонных линейчатых поверхностей. Широкое применение строгальные станки находят в станкостроении и тяжелом машиностроении, когда необходимо обрабатывать крупные, большой массы заготовки станин, корпусов, рам, оснований, колонн и других деталей.

На рис. 1.13 показаны компоновки и основные движения поперечно-строгального (рис. 1.13, а) и одностоечного продольно-строгального станка (рис. 1.13, б).

На *поперечно-строгальном* станке заготовка устанавливается на столе *1*, который перемещается в поперечном направлении по направляющим консоли *4*. Консоль может перемещаться в вертикальном направлении по направляющим стойки *3*. Строгальный резец установлен в откидном резцедержателе на суппорте ползуна *2*, который осуществляет возвратно-поступательные движения: вперед — рабочий ход со съемом припуска; обратно — вспомогательный.

На *долбежных* станках главное движение резания — возвратно-поступательное в вертикальной плоскости — сообщают ползуну, на котором установлен резцедержатель с резцом. Заготовку закрепляют на столе станка, который имеет прерывистое движение продольной и поперечной подач.

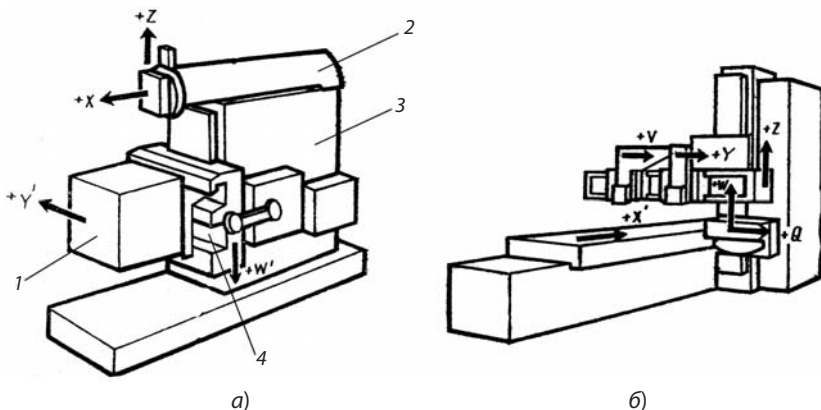


Рис. 1.13. Примеры строгальных станков: а — поперечно-строгальный; б — одностоечный продольно-строгальный

Обработка заготовок *2 протягиванием* (рис. 1.12, в, г) производится многолезвийным режущим инструментом — протяжкой *1* при ее поступательном движении относительно неподвижной заготовки (главное движение резания). По форме различают круглые, шлицевые, шпоночные, многогранные и плоские протяжки.

Протяжные станки отличаются простотой конструкции и эксплуатации. Это обусловлено тем, что формообразование поверхности на протяжном станке осуществляется копированием формы режущих кромок зубьев инструмента.

Протяжные станки предназначены для обработки внутренних и наружных поверхностей различной формы, чаще всего в условиях крупносерийного и массового производства. В зависимости от вида обрабатываемых поверхностей их делят на станки для внутреннего и наружного протягивания; по направлению главного движения — на горизонтальные и вертикальные.

Подробные технические характеристики отечественных станков, в том числе и станков с ЧПУ, приведены в соответствующей литературе.

РАЗДЕЛ 2

СПОСОБЫ УПРАВЛЕНИЯ МЕТАЛЛОРЕЖУЩИМИ СТАНКАМИ, ИХ СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ. СИСТЕМЫ ЧПУ

2.1. УНИВЕРСАЛЬНЫЕ МЕТАЛЛОРЕЖУЩИЕ СТАНКИ С РУЧНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ, ИХ СТРУКТУРА ПОСТРОЕНИЯ, ФУНКЦИИ УПРАВЛЕНИЯ

Управление обработкой заготовок на обычных универсальных станках производится оператором вручную. При управлении станком оператор на первом этапе производит наладку станка. На основе чертежа детали или технологической карты, разработанной технологом, оператор подбирает и устанавливает необходимые режущие инструменты, патрон для зажима заготовки, другие приспособления (если необходимо), устанавливает необходимый режим обработки (частоту вращения шпинделя, величины подач), устанавливает и закрепляет на рабочем органе заготовку.

На втором этапе при обработке заготовки оператор включает и отключает станок, подводит перед обработкой и отводит после обработки рабочие органы станка, включает и отключает подачу СОЖ, осуществляет, если необходимо, рабочую подачу инструмента или просто включает механический привод инструмента. В процессе обработки заготовки оператор переключает режим резания, вводит в работу другие режущие инструменты, проводит, если необходимо, промежуточный контроль точности обработки.

На третьем этапе после окончания обработки заготовки оператор отключает подачу СОЖ, останавливает станок, разжимает и снимает изготовленную деталь, проводит, если необходимо, ее окончательный контроль, удаляет стружку, проводит, если необходимо, регулировку и поднастройку узлов станка и готовится к изготовлению следующей детали.

Универсальные станки для выполнения указанных функций управления оператором имеют большое количество различных рукояток и кнопок управления. Эти станки имеют большие технологические возможности, что позволяет изготавливать на них разнообразные детали из разных материалов, нарезать различные резьбы, обрабатывать заготовки различными режущими инструментами. Однако указанное разнообразие функций управления оператор должен выполнять вручную (имея только две руки и помогая иногда ногами для нажатия на педали).

Оператор должен хорошо знать свой станок, его возможности и особенности работы, знать и уметь выбирать для обработки необходимые режущие инструменты, режимы резания, необходимые приспособления, возможные технологические приемы обработки заготовок. Оператор должен быть не только станочником, но и совмещать в себе в какой-то степени специалиста-инструментальщика и технолога. Все это требует от него высоких профессиональных знаний и большого опыта работы, что достигается за счет длительной работы на станке.

Особенно эффективно универсальные станки с ручным управлением получили применение в мелкосерийном и индивидуальном производстве, где необходимо изготавливать небольшие партии или даже единичные детали. В этом смысле данные станки имеют высокую мобильность (возможность быстрой переналадки на изготовление другой детали).

Постоянное присутствие у станка высокопрофессионального оператора, хорошо знающего его конструкцию и технологические возможности, его реальное состояние, позволяет следить за процессом обработки, своевременно выявлять и устранять возможные отклонения и погрешности в обработке, вовремя менять износившийся режущий инструмент и др. Часто для обработки ряда деталей оператору не нужно разрабатывать технологическую карту с указанием последовательности обработки, режима обработки, необходимых инструментов и приспособлений. Благодаря своему опыту и знаниям он эти вопросы решает сам (иногда даже грамотнее технолога).

Главные недостатки управления станком вручную:

а) низкая производительность, в том числе за счет невозможности управлять одновременно несколькими рабочими органами станка (когда оператору не хватает для этого двух рук). Снижение производительности из-за усталости оператора (особенно в конце смены), наличие перерывов в его работе (обоснованных и необоснованных);

б) нестабильное качество обработки заготовок в течение рабочей смены (ухудшение внимания оператора из-за усталости);

в) иногда недостаточная профессиональная подготовка оператора, что влияет на производительность и качество обработки заготовок;

г) увеличивающаяся с каждым годом нехватка необходимой высокопрофессиональной рабочей силы и ее высокая стоимость;

д) непрестижность данной работы и значительные физические нагрузки.

Поэтому сразу после появления универсальных станков встал вопрос о частичной или полной автоматизации их управления. При этом необходимо было решать две основные проблемы: а) повышение производительности их работы, что в первую очередь требова-

лось для массового и крупносерийного производства; б) сохранение при этом высокой мобильности, что особенно характерно для среднесерийного, мелкосерийного и индивидуального производства.

2.2. МЕТАЛЛОРЕЖУЩИЕ ПОЛУАВТОМАТЫ И АВТОМАТЫ С РАННЕ СУЩЕСТВУЮЩИМИ СИСТЕМАМИ ПРОГРАММНОГО УПРАВЛЕНИЯ. ИХ СТРУКТУРА ПОСТРОЕНИЯ И ВЫПОЛНЯЕМЫЕ ФУНКЦИИ УПРАВЛЕНИЯ

Первыми элементарными системами программного управления (ПУ), позволившими автоматизировать только процесс непосредственной обработки, были механические копируемые системы (рис. 2.1). В качестве программноносителя, который несет на себе данные для управления, здесь применяется неподвижно установленный копир 5.

При перемещении продольного суппорта 2 (см. рис. 2.1) с продольной подачей $S_{пр}$ шуп 4, закрепленный, как и резец, на поперечном суппорте 3, скользит по поверхности копира 5. В результате происходит поперечная подача $S_{поп}$ суппорта 3 и обработка заготовки 1 аналогично профилю копира. Как видно из рисунка, копир в механических копируемых системах выполняет две функции: управления перемещением поперечного суппорта и его рабочей подачи. Последнее является большим недостатком, так как копир воспринимает силу резания и в результате повышается его износ и снижается точность обработки заготовки. Поэтому копир приходится делать часто стальным и для снижения износа проводить его термообработку. В результате имеем высокую трудоемкость изготовления копиров, особенно со сложным профилем.

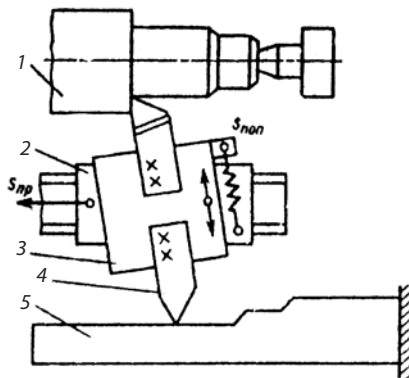


Рис. 2.1. Схема и принцип работы механической копируемой системы

Вторым недостатком данных систем является необходимость после каждого цикла обработки делать так называемый отскок шупа от копира, отводить обратно копир или суппорт в исходное положение и там опять подводить шуп к поверхности копира. Это перемещение является дополнительным холостым ходом и снижает производительность обработки.

Управляют эти системы работой только одного режущего инструмента, что снижает технологические возможности станка.

Преимуществом этих систем является быстрая переналадка станка на изготовление другой детали путем установки другого копира (достаточно высокая мобильность). Однако здесь необходимо не забывать, что новый копир надо спроектировать и изготовить заранее. Обычно это делается параллельно с работой станка.

Чтобы исключить недостатки, связанные с необходимостью возвратно-поступательного перемещения копира, и получить возможность управлять несколькими рабочими органами станка, были разработаны и получили широкое применение кулачковые системы ПУ, где программносителями являются кулачки.

Было предложено обернуть плоский копир на барабан (цилиндр) и поставить его на вал (рис. 2.2, *а*). В этом случае барабанный кулачок 3, поворачиваясь на валу через башмак 2, перемещает суппорт 1. Сделав один оборот, кулачок сразу готов для выполнения следующего цикла.

Барабанные кулачки получились не очень удобными из-за их больших осевых размеров, поэтому были разработаны и получили более широкое применение дисковые кулачки (рис. 2.2, *б*). Кулачок 1

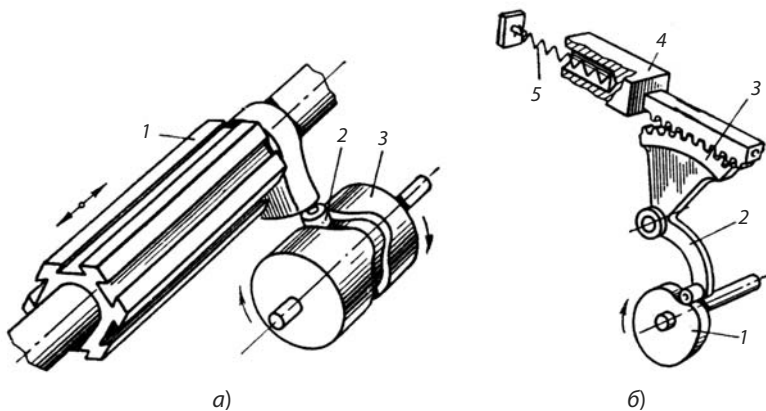


Рис. 2.2. Схемы кулачковых механизмов и принцип работы кулачковых систем ПУ:

а и *б* — соответственно кулачковые механизмы с цилиндрическим (барабанным) кулачком и с дисковым кулачком и качающимся толкателем

через качающийся толкатель 2, зубчатый сектор 3 и рейку перемещает суппорт 4. Обратный ход обеспечивается пружиной 5.

Несколько кулачков (как барабанных, так и дисковых) в соответствии с разработанной циклограммой работы автомата устанавливаются на одном валу, который называется распределительным. Количество кулачков, например, в сборочных автоматах может быть более 10 штук. В результате имеется возможность последовательно и одновременно управлять работой нескольких рабочих органов станка, что расширяет его технологические возможности и повышает производительность.

Кулачковые системы ПУ получили широкое применение для автоматизации самого разнообразного технологического оборудования в разных отраслях промышленности. Для механической обработки резанием до сих пор эффективно применяются автоматы продольного точения, токарно-револьверные автоматы, многошпиндельные полуавтоматы и автоматы и др. Автоматы с этими системами ПУ достаточно просты и надежны, имеют низкую стоимость.

Недостатком кулачковых систем ПУ является большая трудоемкость проектирования и изготовления кулачков и необходимость их последующей установки и наладки на автомате. Последнее производится непосредственно на автомате, который длительное время простаивает. Кулачки в этих системах, как и копир в механических копировальных системах, воспринимают силы резания, что требует их соответствующего изготовления и учета этого при эксплуатации автомата.

Особенно эффективно полуавтоматы и автоматы с кулачковыми системами ПУ применяются в массовом и крупносерийном производстве, где их переналадка производится очень редко. На базе этих станков были построены автоматические линии и даже цеха.

В самом начале XX в., когда был предложен и разработан принцип работы следящей системы, в станкостроении были разработаны и получили широкое применение следящие копировальные системы ПУ токарными и фрезерными станками (рис. 2.3). В отличие от механических копировальных систем ПУ (см. рис. 2.1) копир 8 в этих системах выполняет только функцию управления. Функцию рабочей подачи режущего инструмента выполняет специальный силовой следящий привод 3, который может быть электрическим и гидравлическим. Это позволило значительно упростить изготовление копира даже для управления обработкой сложных объемных деталей.

Копир 8 и заготовка 1 в показанной на рис. 2.3 схеме установлены на рабочем столе 9, имеющем постоянную задающую подачу $S_{\text{зад}}$. На рисунке показано согласованное положение шупа 7 и фрезы со шпиндельной бабкой 2. При перемещении стола на величину Δl шуп 7, скользя по поверхности копира 8, поднимается вверх относи-

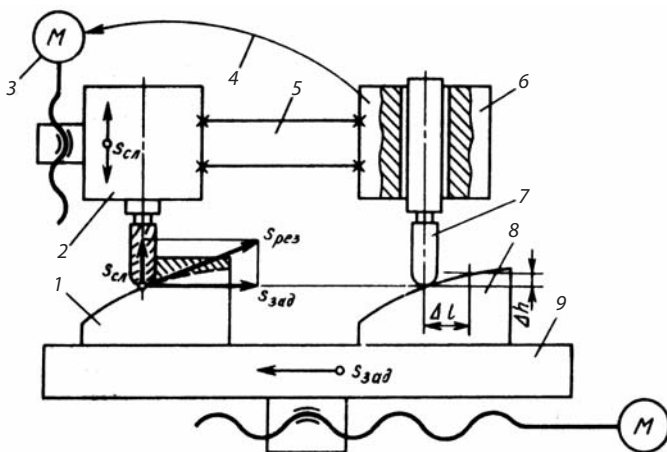


Рис. 2.3. Принцип работы следящей копировальной системы фрезерного станка

тельно копировальной головки $б$ на величину Δh . В результате в ней возникает сигнал рассогласования 4 , который подается на силовой следящий привод 3 . Он начинает перемещать шпиндельную бабку 2 с фрезой, обеспечивая рабочую подачу $S_{сл}$. Вместе со шпиндельной бабкой перемещается и копировальная головка $б$, связанная со шпиндельной бабкой жесткой механической обратной связью 5 . Как только копировальная головка установится в первоначальное согласованное положение со щупом 7 , сигнал рассогласования становится равным нулю и электродвигатель 3 останавливается. При последующем перемещении стола еще на величину Δl цикл работы повторяется. То есть фреза, хотя и с небольшим отставанием, определяемым чувствительностью системы управления, следует за перемещением щупа.

Следящие копировальные системы ПУ, благодаря указанным преимуществам, были до появления систем ЧПУ наиболее мобильными. На их основе строились токарно-копировальные и копировально-фрезерные станки, широко применяемые в машиностроении. Однако после разработки систем ЧПУ выпуск станков со следящими копировальными системами практически прекратился из-за указанных выше недостатков.

Учитывая большую трудоемкость изготовления кулачков и необходимость их наладки непосредственно на автомате, была сделана попытка разработать системы ПУ, в которых программноситель состоит из двух частей. Размерная информация в этих системах задается путевыми упорами 1 , устанавливаемыми в пазах специальной

линейки 2, закрепленной на каждом рабочем органе станка 3 (рис. 2.4, а). Упоры определяют начало и конец холостого и рабочего ходов, воздействуя на конечные выключатели, собранные в блоке 4. Технологическая информация (направление вращения шпинделя, подача СОЖ, частоты вращения шпинделя, величины рабочих подач и др.) задается на второй части программносителя в виде пульта с переключателями или штекерами (рис. 2.4, б). В гнезда каждой вертикальной колонки 3 устанавливаются штекеры 4, определяющие необходимую информацию одного технологического перехода, а каждая горизонтальная строка 2 соответствует конкретной функции управления. В процессе работы станка шаговый искатель 1 последовательно подключает вертикальные колонки с информацией для отдельного технологического перехода.

Первоначально эти системы управления назывались системами управления упорами. В настоящее время они называются *системами циклового программного управления (ЦПУ)*.

Преимущество систем ЦПУ по сравнению с другими в том, что не надо для каждой детали изготавливать новые кулачки и копиры. Здесь нужно переставить те же упоры в новое положение на линейках. А чтобы этого не делать непосредственно на станке, линейки с упорами делают съемными и их настройка делается заранее вне станка. Установка новой технологической информации на пульте управления производится достаточно быстро.

Недостатком системы является то, что управление рабочими органами производится только в начальной и конечной точках, а в промежутке рабочие органы не управляются. В результате обработку заготовок на станках с этими системами можно производить только

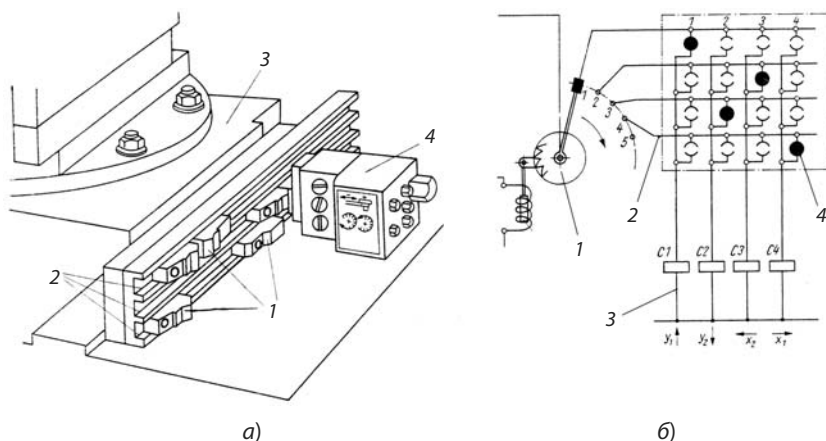


Рис. 2.4. Принцип работы системы ЦПУ:

а — линейка с путевыми упорами; б — панель для установки штекеров

по прямоугольному циклу перемещений. Это снижает технологические возможности данных станков. Кроме того, это обстоятельство может в ряде случаев приводить к колебаниям времени рабочего цикла и ограничениям в части совмещения выполнения рабочих и холостых ходов рабочих органов станка, что снижает производительность обработки.

До появления станков с ЧПУ этими системами оснащались токарные, фрезерные и ряд других станков. В настоящее время они применяются в основном на агрегатных станках и на автоматических линиях из агрегатных станков.

2.3. СИСТЕМЫ ЧПУ СТАНКАМИ. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Сравнительный анализ рассмотренных систем ПУ (рис. 2.5) показывает, что во всех этих системах на основе чертежа детали 1 разрабатывается карта 2 наладки (или программная карта), затем проектируются чертежи 3 программноносителей (копира, кулачков, схем расстановки упоров), производится их изготовление и последующая установка и наладка программноносителей на станке 4.

Как уже отмечалось, главным недостатком всех рассмотренных систем является необходимость представлять цифровую и символическую информацию чертежа детали в аналоговом виде на физически изготавливаемых программноносителях (кривые на кулачках и копира, путевые упоры). Затем эта информация во время обработки опять преобразуется в цифровой вид на изготовленной детали. Это приводит к погрешности обработки (из-за погрешности при изготовлении кулачков, копира, расстановки упоров и из-за их последующего износа), затрудняет автоматизацию всего цикла подготовки процесса обработки из-за необходимости трудоемкого изготовления в натуральном виде программноносителей.

Развитие электроники и вычислительной техники, внедрение в производство микроЭВМ привело к разработке и широкому применению в промышленности металлорежущих станков с ЧПУ и построенных на их основе многоцелевых станков (обрабатывающих центров), роботизированных технологических комплексов (РТК), гибких производственных модулей (ГПМ) и систем (ГПС), имеющих при достаточно высокой производительности высокую мобильность.

Числовым программным управлением станком в соответствии с ГОСТ 20523—80 называют управление обработкой заготовки на станке по управляющей программе, в которой данные заданы в цифровой форме.

Под *системой числового программного управления* понимают совокупность функционально взаимосвязанных и взаимодействующих технических и программных средств, обеспечивающих ЧПУ станком.

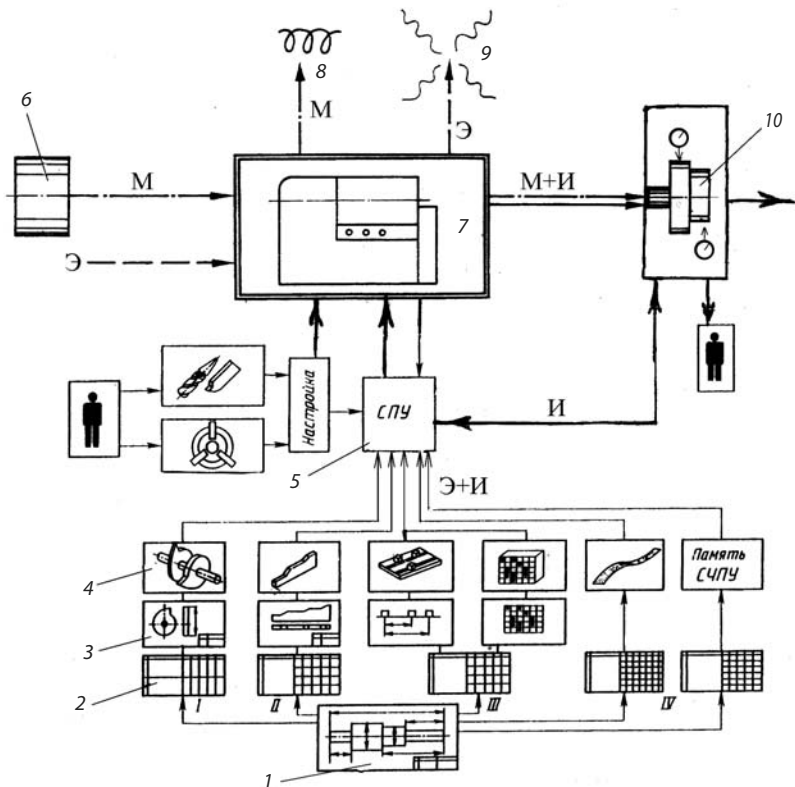


Рис. 2.5. Схема управления станком системами ПУ:

- 1 — чертеж детали; 2 — программные карты; 3 — чертежи программносителей;
 4 — программоносители; 5 — система ПУ; 6 — заготовка; 7 — станок; 8 — стружка;
 9 — теплота от станка; 10 — готовая деталь; М — поток материала; Э — поток энергии;
 И — поток информации

Основой системы ЧПУ является устройство числового программного управления (УЧПУ), выдающее управляющие воздействия на исполнительные органы станка в соответствии с управляющей программой и информацией о состоянии управляемого объекта, получаемой с помощью измерительных систем. От его типа, структуры построения, функциональных возможностей зависят характеристики самой системы ЧПУ.

Под *управляющей программой* (УП) понимается совокупность команд на языке программирования, соответствующая заданному алгоритму функционирования станка по обработке конкретной заготовки. Управляющая программа записывается и вводится в систему

ЧПУ с помощью программносителя, в качестве которого могут применяться перфолента, магнитная лента, магнитный диск и непосредственно запоминающие устройства разного типа. В ряде случаев УП может составляться оператором непосредственно на пульте устройства ЧПУ.

Таким образом, особенностью систем ЧПУ являются следующие положения:

а) вся информация (размерная, технологическая, вспомогательная) вводится в УЧПУ в цифровом виде;

б) технолог-программист переводит задачу управления, сформулированную на разговорном языке, в понятный для УЧПУ язык программирования;

в) указанная информация УП вводится автоматически, поэтому она должна быть полностью определена и с помощью программносителя введена в память УЧПУ;

г) преобразование данных УП в управляющие команды и контроль выполнения этих команд выполняет УЧПУ.

Применение станков с ЧПУ коренным образом изменило технологическую подготовку производства, которая стала сферой инженерного труда. Применение этих станков обусловило ряд особенностей при проектировании технологических процессов обработки заготовок на этих станках. Значительно возросли сложность технологических задач и трудоемкость их решения. Технологи-программисту необходимы не только технологические, но и специальные знания по математике и программированию. Существенной особенностью проектирования технологического процесса является необходимость точного определения траектории движения режущего инструмента в системе координат станка, а также увязка исходной точки программы с положением заготовки на станке и др.

В общем виде процесс подготовки и работы станка с ЧПУ можно представить, рассматривая его как процесс передачи и преобразования информации в системе «чертеж детали — готовая деталь» (рис. 2.6).

Технолог-программист на основании чертежа детали, а также информации из нормалей, ТУ, РТМ, ГОСТов, характеристик станков с ЧПУ проводит подготовку исходных данных для проектирования технологического процесса изготовления заданной детали с последующей разработкой маршрутной и операционной технологий, расчетом траекторий перемещений рабочих органов станка с режущим инструментом и заготовкой, кодирование полученной информации и ее запись на программноситель. В процессе разработки технологического процесса обработки производится выбор и последующая наладка на станке режущих инструментов и приспособлений. После этого проводится отладка и контроль УП и разработанного техноло-

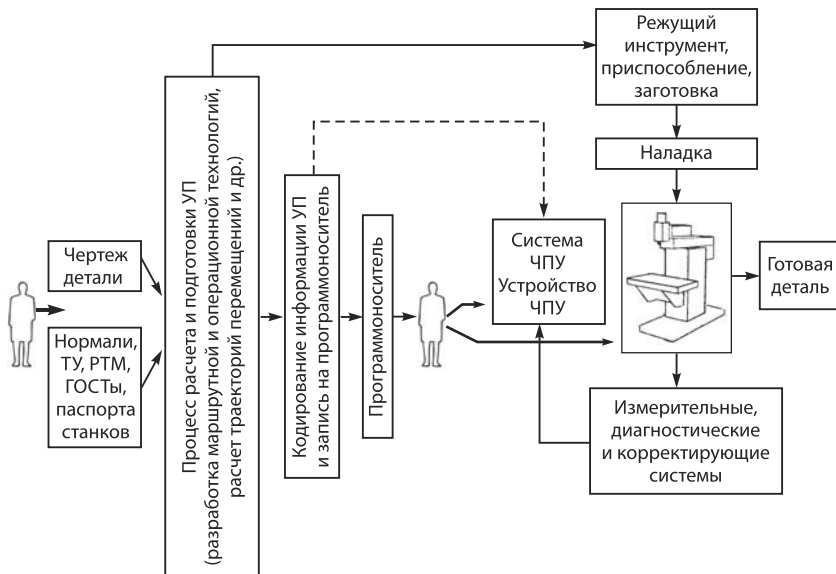


Рис. 2.6. Схема процесса передачи и преобразования информации в системе «чертеж детали — готовая деталь»

гического процесса с последующим изготовлением на станке контрольных деталей.

Система ЧПУ на основе разработанной УП производит управление станком при обработке всей партии изготавливаемых деталей. Функции оператора в этом случае заключаются, как правило, только в наблюдении за работой станка с ЧПУ, установке заготовок и съеме готовых деталей. Это в ряде случаев не требует высокой квалификации. С другой стороны, необходимо помнить, что оператору доверяется очень сложный станок с ЧПУ высокой стоимости.

В тех случаях, когда оператор может проводить составление УП в диалоговом режиме непосредственно на пульте УЧПУ, его квалификация должна соответствовать этому уровню знаний.

Современные системы ЧПУ обеспечивают широкий круг функциональных возможностей станка с ЧПУ. Система ЧПУ производит управление приводом главного движения, приводами подач и цикловой автоматикой (вспомогательными механизмами станка). В процессе управления может осуществляться техническое диагностирование системы управления, узлов станка, режущего инструмента, измерение обрабатываемых деталей непосредственно на станке, измерение действительного положения режущего инструмента, измерение погрешностей станка с целью их последующей коррекции, адаптивное управление.

Для предотвращения поломок и безопасной работы оператора на станке с ЧПУ применяются различные системы контроля и блокировок (например, контроль правильности зажима заготовки или оправки с инструментом, ограничения максимального хода рабочих органов станка, закрытия щитка рабочей зоны станка и др.).

2.4. КЛАССИФИКАЦИЯ СИСТЕМ ЧПУ

Исходя из технологических задач управления обработкой заготовок может применяться:

а) позиционное ЧПУ станком, при котором перемещение его рабочих органов происходит в заданные точки, причем траектории перемещения не задаются (рис. 2.7, а). Обработка заготовки (сверление, расточка отверстий и др.) производится после установки ее (или инструмента) в заданную координату (X и Y). Поэтому эти перемещения рабочих органов происходят на холостом ходу, который необходимо осуществлять на максимальной возможной скорости. Точность холостых (установочных) перемещений в основном должна быть очень высокой (особенно при расточке координатных отверстий). Обработка заготовок требует, как правило, применения большого количества инструментов (сверл, зенкеров, зенковок, расточных резцов, разверток, метчиков), что ставит вопрос об их автоматической смене;

б) контурное ЧПУ станком, при котором перемещение его рабочих органов происходит по заданной траектории и с заданной скоростью для получения необходимого контура обработки (рис. 2.7, б–г), т.е. здесь производится управление в основном рабочими ходами.

При *первом* варианте (см. рис. 2.7, б) обработка производится инструментом, который перемещается параллельно осям координат (по отрезкам). Поэтому обрабатываемые участки профиля заготовки могут быть только параллельными осям координат (см. рис. 2.7, б).

При *втором* варианте (см. рис. 2.7, в) система ЧПУ обеспечивает управление по всем трем координатам, но одновременно перемещение может быть только по двум любым координатам в разных плоскостях (X/Y , X/Z , Y/Z , так называемое управление по $2^{1/2}$ координатам). На рис. 2.7, в показано управление обработкой одновременно по двум координатам в плоскости X/Y и Z/X .

При *третьем* варианте (см. рис. 2.7, г) управление производится одновременно по трем координатам, что позволяет обрабатывать заготовки со сложным объемным профилем (например, штампов, матриц и др.). В настоящее время практически все станки с контурными системами ЧПУ могут обеспечивать управление одновременно

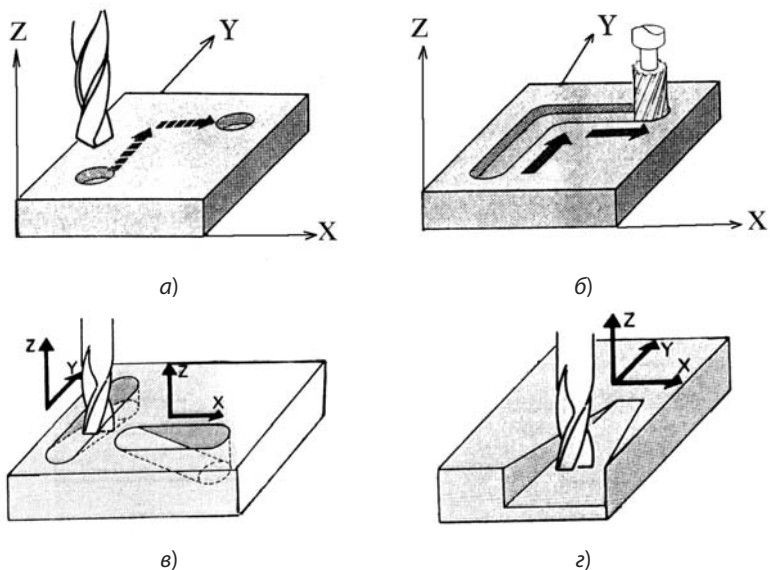


Рис. 2.7. Примеры обработок заготовок исходя из различных задач управления:

- a* — управление перемещениями в отдельные позиции; *б* — управление перемещениями по контуру, но параллельно осям координат; *в* — управление перемещениями по контуру одновременно по двум любым координатам; *з* — управление перемещениями по контуру одновременно по трем координатам

по трем и более координатам. Такими системами ЧПУ оснащаются в основном токарные и фрезерные станки;

в) комбинированное ЧПУ станком, позволяющее проводить управление в обоих вышеуказанных режимах. Такими системами ЧПУ оснащаются в основном многоцелевые и специализированные многокоординатные станки с управлением по четырем и более координатам (рис. 2.8).

На станках с такими системами ЧПУ производится обработка заготовок большим количеством разного инструмента, что требует его автоматической смены, а также высокой точности изготовления деталей.

Системы ЧПУ станками могут строиться с управлением приводами подач без обратной связи (разомкнутыми) и с обратной связью (замкнутыми) (рис. 2.9).

Разомкнутые системы ЧПУ строят на основе применения силовых или силовых шаговых электродвигателей (ШД). В последнем случае ШД применяют в комплекте с гидроусилителем (ГУ) (рис. 2.9, а).

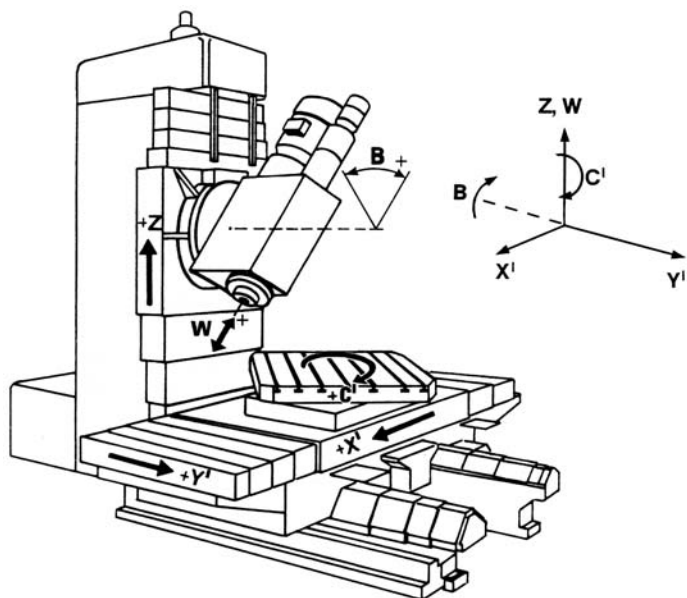


Рис. 2.8. Пример станка с ЧПУ с управлением по шести координатам

Подавая на ШД определенное количество импульсов, мы получаем заданную величину перемещения рабочего органа станка (стола). Частота подачи этих импульсов определяет скорость перемещения, а количество импульсов — величину перемещения.

Система управления приводами получается достаточно простой. Однако из-за отсутствия контроля действительного положения рабочего органа станка на точность его перемещения будут влиять погрешности ШД, ГУ, передачи ходовой винт–гайка привода подачи. Кроме того, ШД не позволяет получать высокие скорости перемещений рабочего органа на холостом ходу, поэтому разомкнутые системы ЧПУ в настоящее время применяются достаточно редко.

Замкнутые системы управления строятся на основе применения следящего привода, включающего в себя регулируемый электродвигатель и систему обратной связи, основой которой является измерительный преобразователь (ИП), ранее называемый датчиком обратной связи (ДОС).

В этих системах кроме прямого потока информации (см. рис. 2.9, б–г), определяющего требуемое положение рабочего органа, имеется еще обратный поток информации, определяющий действительное положение рабочего органа. На основе их сравнения определяется и выдается сигнал управления. Система управления полу-

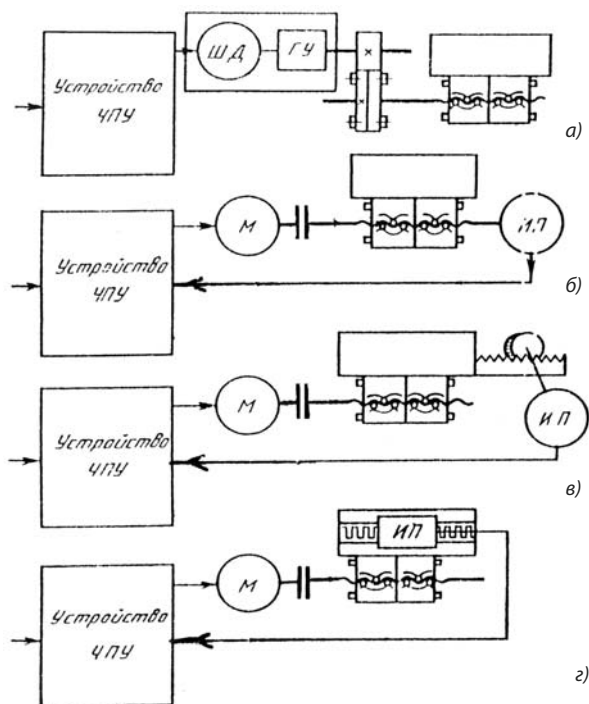


Рис. 2.9. Варианты построения систем обратной связи:
а — разомкнутая система; *б* — с круговым ИП на ходовом винте; *в* — с круговым ИП, измеряющим перемещение через реечную передачу; *г* — с линейным ИП

чается более сложной, но обеспечивает высокую точность перемещения рабочих органов, а также высокую скорость их перемещения на холостых ходах.

Измерительный преобразователь (ИП) системы обратной связи включает в себя измерительный эталонный элемент, блок сравнения и блок связи. Измерение перемещения рабочего органа обеспечивается сравнением величины этого перемещения с эталонной мерой, в качестве которой могут использоваться: точная передача ходовой винт—гайка, различные типы штриховых линеек и дисков, оптические шкалы и др.

Общие технические условия на ИП определяет ГОСТ 26242—90. В соответствии с этим стандартом по виду входной физической величины ИП подразделяются на ИП линейных перемещений и ИП угловых перемещений.

По физическому принципу эквивалентного преобразования ИП подразделяются: на акустооптические (А), волновые (В), голографиче-

ческие (Г), емкостные (электростатические) (Е), индукционные (И), квантовые (лазерные) (К), магнитоэлектрические (гальваномангнитные) (М), полупроводниковые (на ПЗС-структурах) (П), резистивные (потенциометрические) (Р), ультразвуковые (У), фотоэлектрические и оптоэлектронные (Ф), электромагнитные (индуктивные) (Э).

Основным критериями выбора ИП для систем обратной связи являются:

- максимальная величина измеряемого перемещения (угла поворота);
- максимальная скорость измеряемого перемещения (поворота);
- способ измерения перемещения (косвенно или непосредственно);
- дискретность измеряемого перемещения (угла поворота);
- вид выходного сигнала (аналоговый, дискретный).

Обозначение ИП в технической документации и при заказе должно содержать:

- обозначение ИП — П;
- обозначение вида входной физической величины преобразования (Л — для линейных перемещений, У — для угловых перемещений);
- обозначение физического принципа эквивалентного преобразования — А, В, Г и др. (см. выше).

Замкнутые системы ЧПУ могут выполняться в трех вариантах в зависимости от вида применяемых ИП (см. рис. 2.9).

В замкнутых системах ЧПУ, построенных по *первому* варианту (см. рис. 2.9, б), производится косвенное измерение положения рабочего органа станка с помощью кругового ИП, установленного на ходовом винте. Эта схема достаточно проста и удобна с точки зрения установки ИП. Габариты применяемого ИП не зависят от величины измеряемого перемещения. Но при этом предъявляются высокие требования к точностным параметрам передачи ходовой винт—гайка, которая в этом случае не охватывается обратной связью. Применение в приводах подач станков с ЧПУ точно изготовленных передач ходовой винт—гайка с трением качения и создание в них предварительного натяга для устранения зазоров и увеличения жесткости позволяют широко применять данные системы во многих станках с ЧПУ.

Проблемой в этом случае остается влияние на точность перемещения накопленной погрешности по шагу ходового винта, всегда образующейся при его изготовлении и не охватываемой обратной связью. Однако при необходимости величина этой погрешности может быть измерена при изготовлении ходового винта и в последующем скорректирована с помощью системы ЧПУ.

В замкнутых системах ЧПУ, построенных по *второму* варианту (см. рис. 2.9, *в*), применяют также круговой ИП, но измеряющий через реечную передачу непосредственно перемещение рабочего органа станка. Однако здесь в измерение вносится погрешность реечной передачи. Кроме того, длина рейки будет зависеть от величины хода рабочего органа станка. Такой тип обратной связи применяется очень редко.

В замкнутых системах ЧПУ, построенных по *третьему* варианту, применяется линейный ИП (см. рис. 2.9, *г*).

Такая система обратной связи обеспечивает непосредственное измерение перемещения рабочего органа станка и позволяет охватить обратной связью все передаточные механизмы привода подачи, чем достигается высокая точность перемещений. Однако линейные ИП сложнее и дороже, чем круговые. Их габариты зависят от длины хода рабочего органа станка. Установка линейного ИП на станке и его эксплуатация — трудоемкие процессы. На точность измерения такими ИП могут оказывать влияние погрешности станка (температурные деформации узлов станка, погрешности их геометрических параметров, износ направляющих). Данные ИП требуют хорошей защиты от попадания масла, СОЖ и стружки.

Системы ЧПУ, и в частности устройства ЧПУ, в своем развитии прошли несколько этапов, определяемых уровнем развития электронной техники, представляющей разработчикам этих систем управления определенную элементную базу: релейно-контакторную и транзисторную базы, микросхемы малой и средней степени интеграции, мини-ЭВМ и микропроцессоры. В результате по структуре построения различают устройства ЧПУ двух видов:

- 1) аппаратные (типа *NC* — *Numerical Control*);
- 2) программируемые или микропроцессорные (типа *CNC* — *Computer Numerical Control*).

Аппаратным устройством ЧПУ, или устройством с жесткой структурой, называют устройство, алгоритмы работы которого реализуются схемным путем и не могут быть изменены после изготовления устройства. Эти устройства ЧПУ (например, Н22, Н33, Размер-2М и др.) широко применялись ранее для управления различными типами отечественных станков. В настоящее время эти устройства ЧПУ не выпускаются.

Программируемым устройством ЧПУ называют устройство, алгоритмы работы которого реализуются с помощью программ, вводимых в его память, и могут быть изменены после изготовления этого устройства (рис. 2.10).

Принципиальным отличием программируемых УЧПУ от аппаратных является их структура, соответствующая структуре управляющей ЭВМ и включающая аппаратные средства и программное



Рис. 2.10. Укрупненная структурная схема программируемого устройства типа ЧПУ (класса CNC)

обеспечение (ПО), под которым понимают совокупность программ и документации на них для реализации целей и задач, выполняемых системой ЧПУ при управлении станком. В состав программируемой системы ЧПУ входит один или несколько вычислителей, основой которых являются микропроцессоры. Поэтому эти системы ЧПУ называют также микропроцессорными, а когда несколько вычислителей, то мультипроцессорными.

Микропроцессорная УЧПУ (см. рис. 2.10) включает в себя микропроцессор МП, запоминающее устройство ЗУ, расширитель арифметических функций РА и контроллеры внешних устройств КВУ₁...КВУ_n. Обмен информацией между ее блоками осуществляется по специальному каналу обмена — *системной магистрали СМ*.

Микропроцессор, память, расширитель арифметических функций, объединенные системной магистралью, составляют *вычислитель* микропроцессорной системы, с которым через контроллеры внешнего устройства КВУ сопрягаются внешние устройства ВУ_n, необходимые для управления станком и связи с оператором.

Микропроцессор в микропроцессорной системе выполняет следующие функции:

- формирование синхронизирующих и управляющих сигналов для всех компонентов системы;
- выборку данных из памяти системы;
- декодирование команд, арифметические, логические и другие операции, закодированные в команды;
- управление передачей данных между регистрами микропроцессора, а также запоминающего и внешних устройств;
- обработку сигналов от внешних устройств.

Расширитель арифметических функций необходим для повышения производительности микропроцессорной системы при выполнении операций, входящих в базовый набор арифметических функций. Наиболее часто выполняемая арифметическая функция — умножение слов длиной в 16 и 32 разряда.

Контроллер внешнего устройства включает в себя схемы сопряжения внешнего устройства с системной магистралью (интерфейс) и схемы преобразования входных и выходных данных внешнего устройства.

Названные устройства связаны между собой *магистралями* для передачи адресов МА, данных МД и управляющей информации МУ.

2.5. СИСТЕМЫ КООРДИНАТ СТАНКОВ С ЧПУ, КОДИРОВАНИЕ И ЗАПИСЬ ИНФОРМАЦИИ УП

Обработка заготовок на станке с ЧПУ производится автоматически в соответствии с заранее составленной УП, в которой заданы величины отдельных перемещений рабочих органов, несущих заготовку и режущий инструмент. Для получения требуемых размеров на заготовке ее положение в рабочей зоне станка должно быть строго закоординировано. При этом необходимо учитывать необходимые виды движений рабочих органов станка (прямолинейные и круговые (поворотные)), положительные и отрицательные направления этих движений.

Как было показано в разделе 1, рабочие органы станков имеют самые разнообразные движения. Поэтому было очень важно договориться и строго установить для станков с ЧПУ, выпускаемых фирмами разных стран, обозначения всех возможных координат движений, а также правило определения положительных и отрицательных направлений движений по этим координатам рабочих органов станка, несущих заготовку и режущий инструмент.

Был разработан международный стандарт ИСО 841–74, который устанавливает обозначения осей координат и направлений движений рабочих органов станков с ЧПУ. В нашей стране был выпущен ГОСТ 23597–79, который полностью соответствует данному международному стандарту. По этому стандарту в станках с ЧПУ может быть три линейных координаты (X , Y , Z) и три круговых (A , B , C) (рис. 2.11). При этом используются системы координат двух видов: прямоугольная и полярная.

В правой, *прямоугольной* системе координат положение точки на плоскости задается двумя координатами, а в пространстве — тремя координатами. Оси данных координатных систем параллельны прямолинейным направляющим станка. При этом значения координат

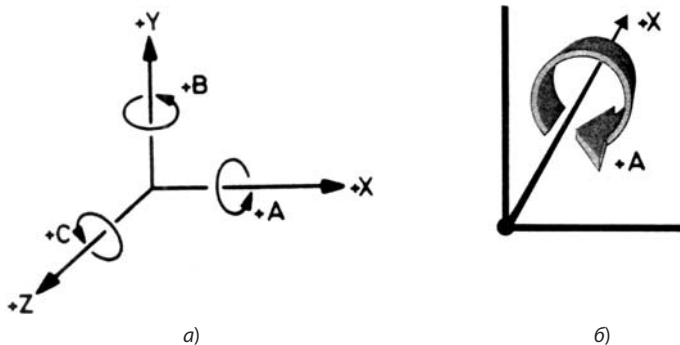


Рис. 2.11. Система координат:

a — обозначение координатных движений; *б* — положительное направление круговой (поворотной) координаты *A*

точек в плоскости и пространстве могут быть как положительными, так и отрицательными.

Для прямоугольной системы координат характерны следующие признаки: координатные оси располагаются взаимно перпендикулярно, они имеют общую точку пересечения (начало отсчета координат) и одинаковый геометрический масштаб.

Указанный выше стандарт устанавливает обозначения осей координат и направлений движений в станках с ЧПУ так, чтобы программирование операций обработки не зависело от того, перемещается режущий инструмент или заготовка.

За основу принимается перемещение инструмента относительно системы координат неподвижной заготовки. Положительное направление движения рабочего органа станка соответствует направлению отвода инструмента от заготовки (рис. 2.12). При этом на схемах

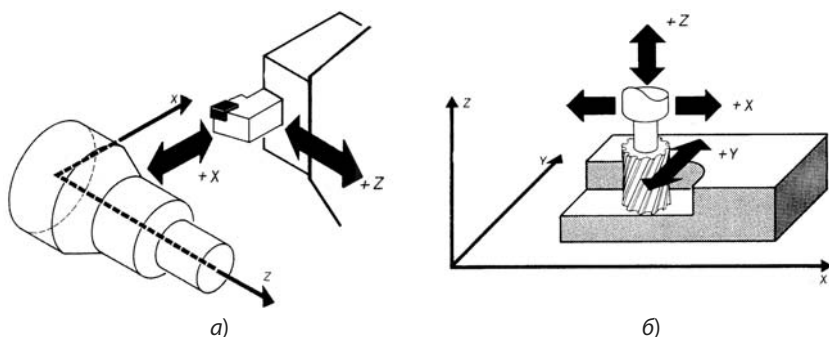


Рис. 2.12. Системы координат с обозначением положительных направлений прямых перемещений рабочих органов с инструментом:

a — на токарном станке с ЧПУ; *б* — на фрезерном станке с ЧПУ

станков направления движения рабочих органов, несущих инструмент, обозначаются буквами без штриха, а несущих заготовку — буквами со штрихом; при этом положительное направление движения, обозначаемое буквой со штрихом, противоположно соответствующему движению, обозначаемому той же буквой без штриха.

Ось Z (см. рис. 2.12) определяется по отношению к шпинделю главного движения, т.е. шпинделю, вращающему инструмент в станках сверлильно-фрезерно-расточной группы, или шпинделю, вращающему заготовку в станках токарной группы. Движение по оси Z в положительном направлении должно соответствовать направлению отвода инструмента от заготовки (см. рис. 2.12).

Ось X должна быть расположена предпочтительно горизонтально и параллельно поверхности крепления заготовки. На станках с вращающейся заготовкой, например токарных, движение по оси X направлено по радиусу заготовки и параллельно поперечным направляющим. Положительное движение по оси X происходит, когда инструмент, установленный на главном резцедержателе поперечных салазок, отходит от оси вращения заготовки (рис. 2.11, *а*). На станках с вращающимся инструментом, например фрезерных, сверлильных, при вертикальной оси Z положительное перемещение по оси X направлено вправо (рис. 2.11, *б*).

Положительное направление движения по оси Y следует выбирать так, чтобы ось Y вместе с осями Z и X образовывала правую прямоугольную систему координат (см. рис. 2.11, *б*).

Учитывая сложность определения правильного обозначения координатных перемещений и их положительного направления, в стандарте в приложении даны схемы различных станков с указанными обозначениями (см. также раздел 1, рис. 1.4, 1.6, 1.9 и 1.13).

Несмотря на то что с помощью трехкоординатной прямоугольной системы координат описывается положение любых точек в геометрическом пространстве, в современной механообработке часто возникает необходимость в изготовлении столь сложных поверхностей, когда недостаточно перемещений рабочих органов только по трем осям координат. В этом случае используют пространственную прямоугольную систему координат с дополнительными круговыми осями координат, которые располагаются вокруг основных линейных осей X , Y и Z (см. рис. 2.11, *а*). Ось вращения вокруг оси X обозначается как ось A , ось вращения вокруг оси Y — как ось B , ось вращения вокруг оси Z — как ось C .

За положительное направление круговой координатной оси принимается направление вращения по часовой стрелке, если смотреть в положительном направлении вдоль соответствующей ей линейной оси (см. рис. 2.11, *б*).

В ряде станков с ЧПУ (см. рис. 2.8) дополнительно к основным (первичным) прямолинейным движениям X , Y и Z имеются вторичные движения параллельно им. Их следует обозначать соответственно буквами U , V и W . Если дополнительно имеются третичные движения, параллельные им, их следует обозначать соответственно буквами P , Q , R .

Если дополнительно к первичным круговым движениям имеются вторичные вращательные движения, параллельные или непараллельные A , B и C , их следует обозначать буквами D и E .

Прямоугольную систему координат с дополнительными круговыми осями можно также представить как пространственную полярную систему координат (рис. 2.13).

В полярной системе координат положение точки P на плоскости XU определяется расстоянием (радиусом) R от точки до начала координат и углом α между определенной осью координат и радиусом, проведенным в точку из начала координат (см. рис. 2.13). Как правило, в полярной системе координат на плоскости XU угол α указывается от оси X . Угол α может иметь как положительное, так и отрицательное значение.

Система координат детали задается технологом-программистом при разработке технологического процесса изготовления детали на станке с ЧПУ и составлении УП. Исходная точка, от которой система ЧПУ отсчитывает перемещения исполнительных органов станка при обработке заготовки по управляющей программе, называется *нулевой точкой детали*. Нулевая точка детали не имеет постоянных координат и каждый раз назначается заново — в зависимости от конфигурации детали, технологии обработки и удобства наладки станка.

Для станка с ЧПУ чертеж детали и ее размеры должны задаваться в системе координат детали для определения координат опорных

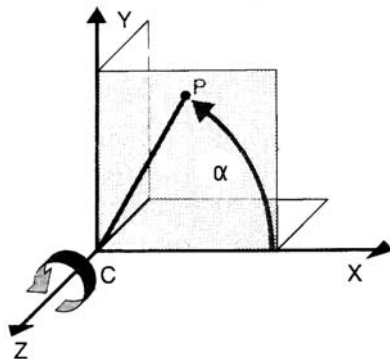
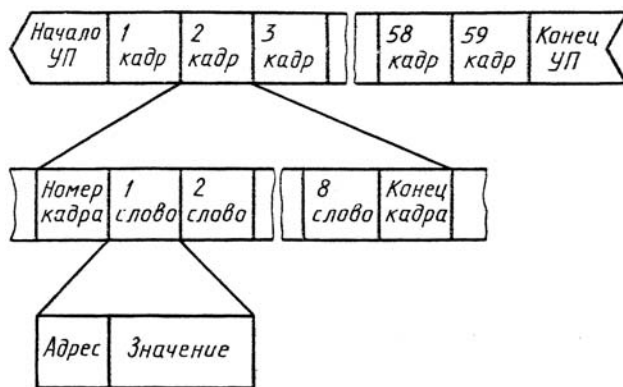


Рис. 2.13. Полярная система координат

точек контура при составлении УП. Для более сложных деталей при составлении УП приходится, как правило, выполнять в достаточно большом объеме геометрические расчеты недостающих координат характерных точек на профиле детали.

При составлении УП и расчете величины перемещений рабочих органов станка с ЧПУ применяются два способа отсчета координат: абсолютный и относительный (в приращениях). При *абсолютном* отсчете измерение перемещений производится от нулевой точки детали, т.е. используются абсолютные значения координат последовательно расположенных точек. При *относительном* отсчете используются приращения координат для последовательного перемещения от точки к точке.

Структура УП, ее формат, а также правила кодирования информации, записываемой на носители данных (перфоленту, магнитную ленту, магнитный диск) или вводимой с дистанционного источника информации (например, ЭВМ высшего ранга), и требования к технической документации на УЧПУ устанавливает ГОСТ 20999–83. В соответствии с этим ГОСТом УП записывается на носитель данных в виде последовательности кадров (рис. 2.14). Под *кадром* УП пони-



G	01	линейная интерполяция
X	126.4	} — числовые значения
Y	.5	
F	170	подача
S	1200	частота вращения шпинделя
T	14	} — смена инструмента с установкой
M	06	

Рис. 2.14. Структура записи управляющей программы «Электроника НЦ 80-31»

мают составляющую часть УП, вводимую и обрабатываемую как единое целое и содержащую не менее одной команды.

Каждый кадр состоит из слов, расположенных в определенном порядке. Под *словом* понимают составляющую часть кадра, содержащую данные о параметре процесса обработки заготовки и (или) другие данные по выполнению управления. Слово в начале кадра, определяющее последовательность кадров в УП, называют *номером кадра*. Номер кадра задается адресом N и целым десятичным числом.

Часть слова УП, определяющую назначение следующих за ним данных, содержащих в этом слове, называют *адресом*. Значения символов адресов установлены ГОСТ 20999–83.

После кодирования информация УП в виде последовательности кадров в соответствии с изложенными выше правилами записывается на программноносителе, в качестве которого иногда применяют восьмидорожковую бумажную (или из другого материала) перфорационную ленту шириной 25,4 мм (1 дюйм). В современных УЧПУ УП может вводиться непосредственно в память с помощью буквенно-цифровых и индексных клавиш. Форму, размеры и расположение перфорационных отверстий кодовых дорожек на ленте регламентирует ГОСТ 10860–83.

Запись информации на перфоленге производится с использованием международного кода *ISO* — 7bit.

Подробное описание процесса подготовки и расчета УП изложено в разделах 5–10.

2.6. ЗАДАЧИ, РЕШАЕМЫЕ СИСТЕМОЙ ЧПУ, АРХИТЕКТУРА ИХ ПОСТРОЕНИЯ

В общем виде можно сформулировать пять задач, решаемых системой ЧПУ и вытекающих из необходимого взаимодействия ее со станком и окружающей производственной средой.

Взаимодействие со станком состоит в управлении формообразованием детали (*геометрическая задача*), в управлении цикловой автоматикой станка (*логическая задача*), в управлении рабочим процессом в целях его поддержания или оптимизации (*технологическая задача*), например, при электрохимической обработке, адаптивном управлении с изменением подачи и скорости резания для оптимизации процесса обработки по какому-то критерию. Взаимодействие с окружающей производственной средой (*терминальная задача*) выражается в диалоге с оператором и в информационном обмене с управляющей ЭВМ более высокого ранга. *Пятая задача* обеспечивает проведение технического диагностирования УЧПУ и узлов станка.

Геометрическую задачу можно определить через периоды последовательного преобразования геометрической информации УП: ввод

УП, размещение в памяти, процесс вычислений с подготовкой буферного кадра (расчет эквидистант, преобразование координатных систем, определение параметров, используемых в алгоритме интерполяции). Интерполяция необходима для управления каждым отдельным приводом подачи, а также для согласования движений приводов между собой.

Логическая задача состоит в автоматизации на станке работы вспомогательных механизмов: зажимов-разжимов, подводов-отводов, переключений, пусков-остановов, смены инструмента и др. Ее специфика заключается в большом числе обменных сигналов между устройством ЧПУ и объектами управления на станке.

Терминальная задача системы ЧПУ служит источником потока заданий для всех остальных задач. Эти задания формируются под управлением оператора станка или ЭВМ более высокого ранга.

Пульт управления системы ЧПУ конструктивно выполняется в разных вариантах (подвесной, встроенный и др.).

Символы (условные графические изображения) на пультах управления и их основные размеры устанавливает ГОСТ 24505–80, полностью соответствующий международному стандарту ИСО 3461–76.

Состав задач, решаемых системой ЧПУ, и мера их сложности оказывают непосредственное влияние на структуру (архитектуру) построения устройства ЧПУ. Простейший вариант построения — однопроцессорное устройство ЧПУ. Здесь все задачи решаются последовательно одним вычислителем. При этом возникает проблема разделения времени работы микропроцессора для решения задач управления. Такие системы ЧПУ имеют ограниченные функциональные возможности и применяются для управления простыми станками. Может быть, наоборот, самый сложный вариант построения устройства ЧПУ, когда каждая задача выполняется отдельным вычислителем. В этом случае функциональные возможности системы ЧПУ очень большие и применяют их уже для управления сложными, многокоординатными станками.

На рис. 2.15 в качестве примера показана структурная схема системы ЧПУ «Электроника НЦ 80-31», которая является мультипроцессорной системой. В состав данной системы ЧПУ входят три микроЭВМ, каждая из которых имеет свой микропроцессор, блоки оперативной и постоянной памяти для хранения программ: ЭВМ 1 управляет работой всей системы, обеспечивает связь с оператором, а также ввод и хранение управляющих программ; ЭВМ 2 обеспечивает отработку заданных перемещений рабочими органами станка; ЭВМ 3 управляет работой электрооборудования станка. Информация между разными микроЭВМ передается по последовательным каналам связи.

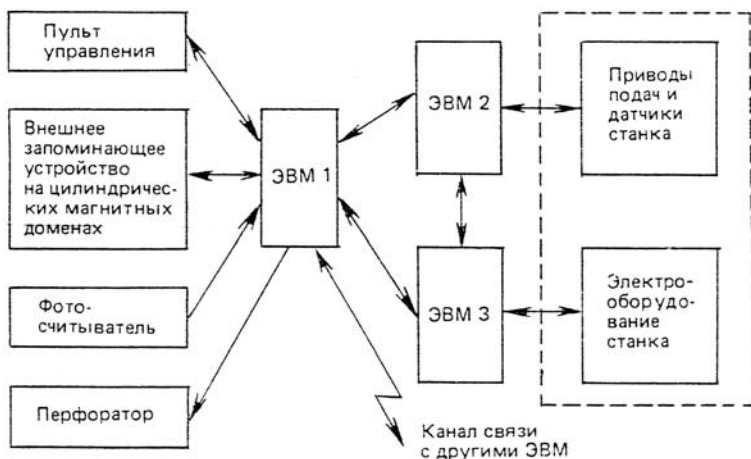


Рис. 2.15. Структура записи управляющей программы «Электроника НЦ 80-31»

2.7. ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ СИСТЕМ ЧПУ

Программное обеспечение (ПрО) предполагает вычисление, специально организованное хранение и использование информации, диалог с пользователем при разработке УП, диагностирование, управление работой локального оборудования в реальном времени.

Построение ПрО должно выполняться по блочно-модульному принципу с максимальной независимостью модулей и обеспечением их универсальности с точки зрения применимости к различным видам станков.

ПрО включает системное ПрО, технологическое ПрО и функциональное ПрО.

Системная программа в ЧПУ — программа системы ЧПУ, обеспечивающая распределение ресурсов, организацию процесса обработки, ввода-вывода и управления данными.

Технологическая программа в ЧПУ — программа системы ЧПУ, обеспечивающая реализацию задач управления применительно к различным моделям станков внутри каждой группы (токарные, сверльные, фрезерные и др.).

Функциональная программа ЧПУ — программа системы ЧПУ, обеспечивающая реализацию задач управления применительно к различным моделям станков внутри каждой группы.

Системное ПрО состоит из операционной системы, служебного ПрО, диагностического ПрО.

Операционная система — центр всей системы средств. В общем виде она определяет порядок работы этой системы программных

средств и представляет собой интерфейс между аппаратной частью СЧПУ и остальными разделами ПрО.

Службное ПрО выполняет функции интерфейса между пользователем и СЧПУ. Это ПрО включает сервисные программные средства, обеспечивающие доступ к системе пользователей, обслуживающего персонала, разработчиков функционального ПрО, разработчиков управляющих программ (УП).

Современные СЧПУ оснащены развитой системой диагностирования, работающей на следующих уровнях: по включению питания; в реальном времени во время управления станком; по вызову оператора. *Диагностическое ПрО* аппаратных средств микроЭВМ проводится путем их тестирования.

Технологическое и функциональное ПрО образуют так называемое ПрО процесса управления объектом, т.е. как координатными перемещениями по различным осям, так и работой исполнительных механизмов типа «включено-выключено». Основными элементами технологического ПрО являются типовые циклы, реализуемые в виде подпрограмм подготовительных *G*-функций.

Функциональное ПрО решает задачи привязки СЧПУ к конкретному типу станков, а именно производит описание характеристик данного станка и программы управления его электроавтоматикой.

Общие технические требования на программируемые устройства ЧПУ и их классификацию устанавливает ГОСТ 21021–2000.

РАЗДЕЛ 3

ОСОБЕННОСТИ КОМПОНОВКИ И КОНСТРУКЦИИ СТАНКОВ С ЧПУ

Разработка и внедрение систем ЧПУ оказали большое влияние на компоновку и конструкцию существующих станков, оснащаемых этими системами управления.

Новые широкие функциональные возможности систем ЧПУ, их особенности по сравнению с ранее применяемыми ПУ потребовали нового подхода к разработке новых или модернизации существующих компоновок станков, конструкции их узлов и механизмов. Во многих случаях были разработаны и стали применяться оригинальные, ранее редко или вообще неприменяемые компоновки, а также конструкции ряда узлов и механизмов. Параллельно с этим проводилась разработка и применение новых регулируемых приводных электродвигателей, различных измерительных систем, новых конструкций комплектующих элементов станка (подшипников, направляющих, механизмов автоматической смены инструментов и заготовок и др.), новых материалов для изготовления деталей станка. Все это позволило значительно упростить кинематику станков с ЧПУ, повысить их производительность, точность и надежность работы.

С другой стороны, широкие технологические возможности станков с ЧПУ, высокая степень автоматизации их работы усложнили эти станки, повысили их стоимость, потребовали тщательной подготовки обслуживающего персонала, разработки более рациональных систем их технического обслуживания и ремонта.

3.1. КОМПОНОВКА СТАНКОВ С ЧПУ, ЕЕ ОСОБЕННОСТИ, ХАРАКТЕРИСТИКИ

В настоящее время имеется значительное многообразие компоновок станков с ЧПУ как для обработки деталей типа тел вращения, так и для обработки корпусных и плоских деталей. На этапе разработки компоновки закладываются важнейшие показатели станка: точность, производительность, надежность, металлоемкость. Для экономии дорогостоящей производственной площади необходимо делать станки предельно компактными. Отмечается, что ни качеством конструкции и выбором материалов, ни тщательным изготовлением и сборкой нельзя компенсировать ущерб, нанесенный выбором нерациональной компоновки станка и неверным определением ее основных пропорций.

Компоновку станка с ЧПУ можно определить как систему расположения его узлов и направляющих, которая отличается структурой, пропорциями и свойствами этой системы. Компоновка станка обеспечивает выполнение всех формообразующих и вспомогательных движений и имеет блочную структуру, состоящую обобщенно из одного стационарного и нескольких подвижных блоков, разделенных линейными или круговыми направляющими.

Например, компоновка станка влияет на его точность через:

- упругие деформации базовых деталей и узлов в зависимости от их массы, размеров, конструктивной формы, взаимного расположения, вылетов подвижных деталей и узлов и изменения этих вылетов;
- износ направляющих, зависящий от схемы расположения, размеров и типов направляющих, расположения нагружаемых элементов относительно рабочей зоны станка;
- температурные деформации базовых и других деталей и узлов станка, что приводит к относительному линейному смещению узлов станка, несущих заготовку и режущий инструмент, а также к их угловым поворотам. Величина, характер и направление действия температурных деформаций в значительной степени определяются размещением на станке тепловыделяющих узлов и получаемой избыточной температурой их нагрева.

От компоновки зависят динамическая жесткость упругой механической системы станка и запас устойчивости, уровень частот собственных колебаний, характер этих колебаний и др.

Важными элементами в компоновке станка являются его базовые детали (станины, стойки, колонны и др.). От их компоновки и конструкции зависят точность, жесткость, металлоемкость и другие характеристики станка. Так, для повышения жесткости базовые и корпусные детали многих современных станков с ЧПУ делают сварными из толстолистовой стали с большим количеством ребер.

Применение сварных корпусных деталей вместо литых позволяет:

- исключить риск получения брака в тяжелых отливках и снизить трудоемкость работ при необходимости исправления этого брака;
- снизить трудоемкость механической обработки за счет уменьшения припусков на сварные детали по сравнению с литыми;
- увеличить жесткость сварных корпусных деталей при одновременном снижении их металлоемкости благодаря применению при сварке большой номенклатуры профилей жесткого сечения. Жесткость изгиба и кручения сварных деталей по отношению к литым часто увеличивается в 2,5–3 раза;
- отказаться от традиционных методов конструирования сварных корпусных деталей по аналогии с литыми, а именно: упростить

формы самой детали и ее элементов; провести унификацию составных элементов; создать их размерные ряды и применять унифицированные элементы для проектирования сварных корпусных деталей станков.

Однако необходимо учитывать, что в некоторых случаях создание сварных корпусных деталей является более трудоемким, особенно если эти детали имеют сложную конфигурацию и затрудняется унификация составных свариваемых элементов. Кроме того, литые корпусные детали из чугуна часто имеют лучшую виброустойчивость и стабильность формы. Все корпусные сварные детали для снятия внутренних напряжений необходимо подвергать отжигу.

Наряду с литыми и сварными базовыми деталями из чугуна и стали, в современных станках с ЧПУ применяют базовые детали из композиционных материалов, в частности из синтеграна. Это композиционный материал на основе наполнителя в виде крошки гранита и полимерного (эпоксидного) связующего компонента холодного отверждения в количестве до 10%.

Синтегран по сравнению с чугуном имеет следующие основные преимущества: в 4–5 раз выше демпфирующая способность; минимальные внутренние напряжения в отливках и, соответственно, повышенная стабильность размеров во времени; в десятки раз ниже теплопроводность и, соответственно, малая чувствительность деталей из синтеграна к перепаду температур; высокая коррозионная стойкость; меньшая трудоемкость изготовления отливок.

На рис. 3.1 схематично показаны применяемые варианты компоновок станин 3 и суппортов 1 и 2 на токарных станках, в том числе с ЧПУ. Компоновки различаются получаемыми габаритными размерами, удобством доступа оператора и наладчика к рабочей зоне и режущим инструментам, схемой восприятия сил резания направляющими суппортов, отводом стружки и др.

В современных токарных станках с ЧПУ наряду с вариантом, показанным на рис. 3.1, *а*, широкое применение получила компоновка, показанная на рис. 3.1, *д*. При такой компоновке имеется удобный доступ оператора к патрону шпинделя для установки заготовки, к задней бабке и к револьверной головке с инструментами. При этом данные токарные станки с ЧПУ выпускаются как с одной, так и с двумя револьверными головками. Некоторые фирмы выпускают токарные станки с ЧПУ с тремя револьверными головками, с противощпинделем, а также имеющие другие компоновки.

Важное значение имеет правильная компоновка отдельных узлов станка с ЧПУ (шпиндельной бабки, приводов подач и др.). В современных многоцелевых станках применяется как вертикальная, так и горизонтальная компоновка шпинделя. В станках с горизонтальной компоновкой шпинделя находит широкое применение арочная кон-

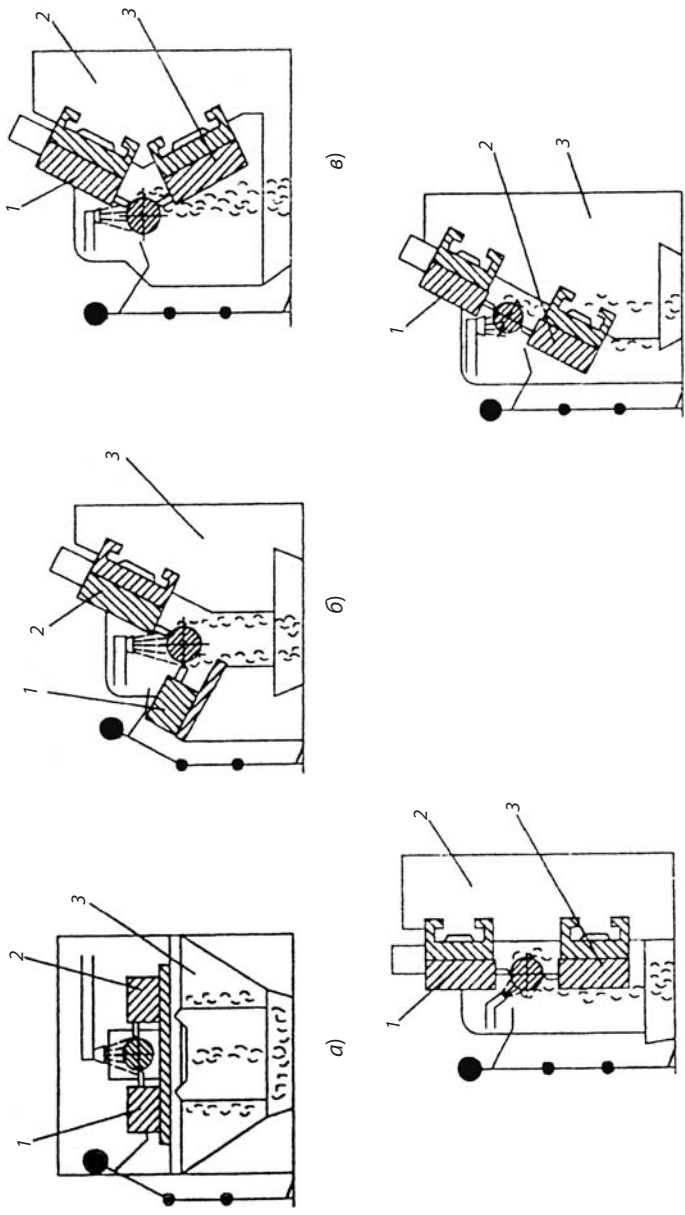


Рис. 3.1. Варианты компоновки станины и суппортов в токарных станках:
 а — горизонтальная; б — двусторонняя наклонная; в — наклонная с расположением одного суппорта в нижней части станины;
 г — вертикальная; д — наклонная с расположением суппортов параллельно друг другу

струкция колонны, в центральном проеме которой перемещается шпиндельная бабка (рис. 3.2, а). Такая компоновка предотвращает скручивание колонны при нагрузке вдоль оси шпинделя, что наблюдалось при старом консольном расположении шпиндельной бабки (рис. 3.2, б). Кроме того, при такой термосимметричной компоновке снижается влияние температурных деформаций колонны на точность станка за счет равномерного нагрева ее левой и правой сторон. При консольном расположении шпиндельной бабки имели место неравномерные температурные деформации, которые приводили к значительным отклонениям оси шпинделя.

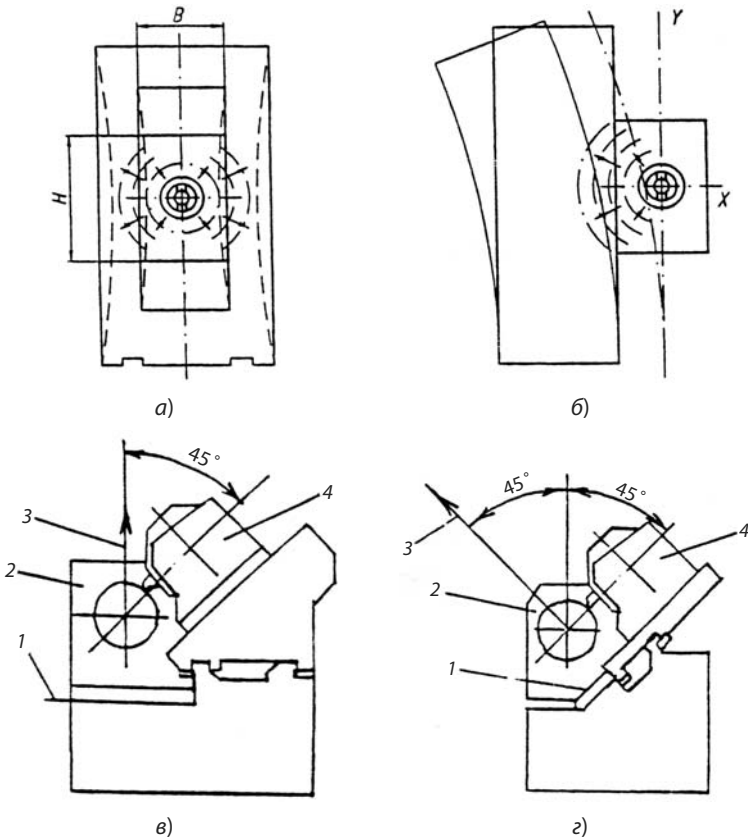


Рис. 3.2. Виды компоновок шпиндельных бабок на многоцелевых и токарных станках с ЧПУ:

а — с центральным расположением в колонне; б — консольная; в — с креплением на горизонтальной плоскости; г — на наклонной плоскости

Условия перемещения шпиндельной бабки в центральной части колонны станка с точки зрения износа направляющих могут быть улучшены за счет увеличения ее высоты H по отношению к ширине B по сравнению с конструкцией, где эти размеры одинаковые (см. рис. 3.2, *a*).

На рис. 3.2, *b* и *г* показаны разные варианты компоновки и крепления шпиндельной бабки в токарных станках с ЧПУ, в результате чего получаются различные направления и величины смещения шпинделя из-за температурных деформаций.

При креплении шпиндельной бабки 2 (см. рис. 3.2, *b*) на станине на горизонтальной плоскости 1 смещение шпинделя из-за температурных деформаций относительно режущего инструмента, установленного в револьверной головке 4, происходит в вертикальном направлении 3. При креплении шпиндельной бабки 2 на станине на наклонной поверхности 1 (см. рис. 3.2, *г*) отклонение шпинделя происходит уже под углом к вертикали в направлении 3 и погрешность изготовления детали получается меньше.

Разные величины относительного смещения шпинделя и суппорта токарного станка с ЧПУ из-за температурных деформаций могут получаться при различной компоновке привода продольной подачи (рис. 3.3).

При *первом* варианте (рис. 3.3, *a*) смещение шпиндельной бабки 2 со шпинделем происходит в направлении 1, а ходового винта 5, имеющего приводной электродвигатель и подшипниковую опору 3 с левой стороны, в направлении 4. В результате эти смещения совпадают по направлению и накладываются друг на друга, что уменьшает погрешность изготовления детали. При *втором* варианте (рис. 3.3, *б*) смещение шпиндельной бабки 2 со шпинделем и ходового винта 5 происходит уже в разных направлениях 1 и 4, в результате эти смещения суммируются, что увеличивает погрешность изготовления детали. При *третьем* варианте (рис. 3.3, *в*) ходовой винт установлен в двух неподвижных опорах 3 и предварительно растянута. В результате при нагреве температурные деформации ходового винта не влияют на точность изготовления детали.

Изменение положения центра тяжести узла станка (изменение вылета массы), а также вылета точки приложения сил резания является причиной так называемой перевалки узла станка при его неправильной компоновке. Снижение или исключение перевалки узла станка достигается наряду с применением направляющих качения с предварительным натягом и гидростатических направляющих замкнутого типа также соответствующей компоновкой и конструкцией стола, салазок и их привода, например центральным расположением ходового винта 2 салазок 1 среди направляющих, когда его ось находится в одной вертикальной плоскости с осью шпинделя 3

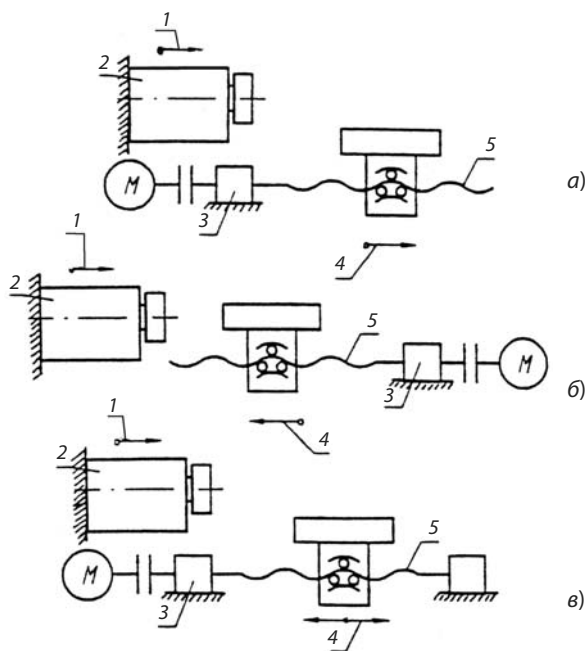


Рис. 3.3. Виды компоновок привода продольной подачи суппорта токарного станка с ЧПУ:
 а — с левым расположением приводного электродвигателя; б — с правым расположением приводного электродвигателя; в — с жестким закреплением двух опор винта

(рис. 3.4, а). Это позволяет практически исключить возможность перевалки салазок с заготовкой в горизонтальной плоскости под действием сил резания из-за зазоров и упругих деформаций их направ-

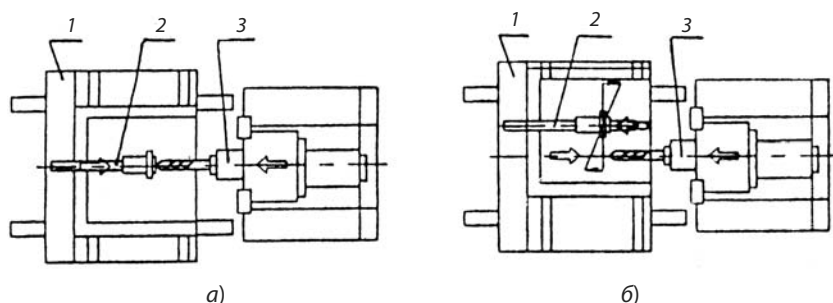


Рис. 3.4. Компоновка станка с ЧПУ с центральным (а) и смещенным (б) расположением ходового винта привода поперечной подачи салазок

ляющих. Последнее имеет место при другой компоновке, когда ось ходового винта 2 салазок 1 и ось шпинделя 3 находятся в разных вертикальных плоскостях. (рис. 3.4, б).

В настоящее время получает широкое применение модульный принцип построения и изготовления станков с ЧПУ и станочных систем.

Под *модулем* в этом случае понимается конструктивно и функционально законченная единица, являющаяся составной частью станка с ЧПУ и станочной системы.

Все большее количество узлов и механизмов станка с ЧПУ (узел шпинделя, направляющие, передача ходовой винт—гайка, револьверные головки, устройства ЧПУ, измерительные преобразователи, приводные электродвигатели и др.) стали практически полностью или частично независимы от конструкции и иногда даже типа станка, и их необходимые типоразмеры стали централизованно разрабатываться и выпускаться различными специализированными фирмами.

При применении модульного принципа конструктор, решая задачу разработки конкретного станка, выбирает нужные ему готовые узлы и механизмы из каталогов и проектирует самостоятельно только, по сути, общую компоновку и базовые узлы станка (станину, колонну, корпуса шпиндельной бабки, суппортов и другие корпусные детали). Это похоже на детскую игру «Лего», когда из отдельных модулей собирается любая желаемая компоновка и конструкция разных изделий. При этом конструктор выбирает модули тех фирм, которые он считает нужными сам или которые его попросит заказчик станка.

На сегодняшний день при использовании модульного принципа построения станков с ЧПУ существует два направления: *первое* направление производство разных модификаций станка с ЧПУ на основе одной его базовой модели и самостоятельно разработанных этой же фирмой ряда различных унифицированных основных узлов и механизмов (рис. 3.5, а). Другим примером являются многоцелевые станки с ЧПУ с горизонтальной компоновкой шпинделя фирмы *Graffenstaden* (Франция), различные модификации которых можно создавать из гаммы модулей, разработанных и изготавливаемых данной фирмой (рис. 3.5, б).

По мере увеличения централизованной разработки и изготовления все большего разнообразия унифицированных и нормализованных узлов и механизмов станков с ЧПУ специализированными фирмами более перспективным становится *второе* направление использования модульного принципа, когда при разработке и изготовлении конкретных станков с ЧПУ в максимальной степени применяются готовые модули большинства узлов и механизмов станков с ЧПУ.

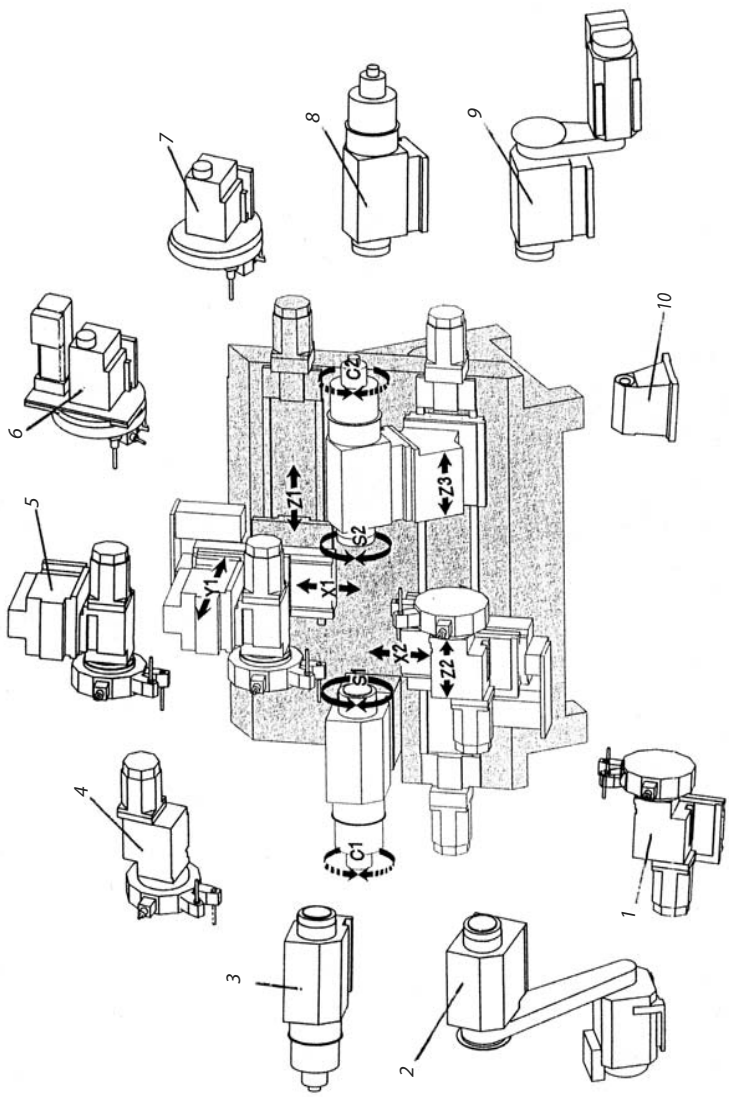


Рис. 3.5. Модульный принцип построения станков с ЧПУ: а — токарного многоцелевого станка с ЧПУ фирмы *Schablin* (Швейцария)

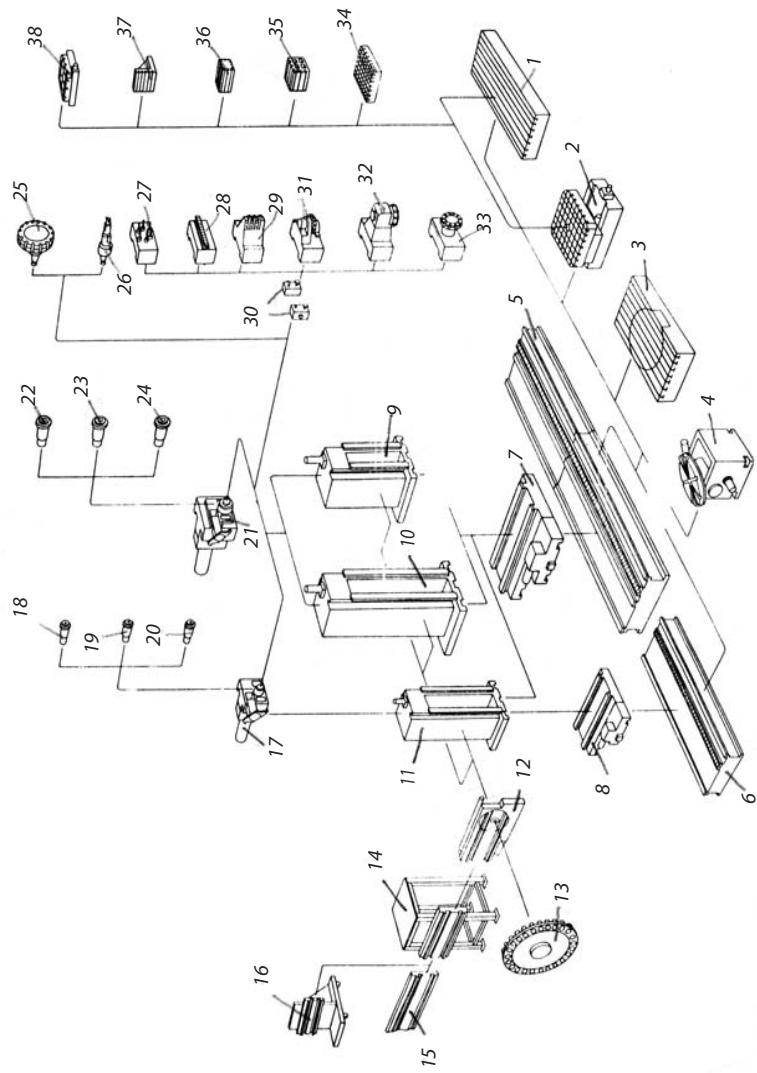


Рис. 3.5. Модульный принцип построения станков с ЦПУ: б — многоцелевого станка с ЦПУ фирмы *Grafenstaden* (Франция)

Рис. 3.5. Модульный принцип построения станков с ЧПУ:

a — токарного многоцелевого станка с ЧПУ фирмы *Schablin* (Швейцария): 1 — суппорт с нижней револьверной головкой; 2 и 3 — варианты исполнения привода главного движения; 4–7 — варианты суппорта с верхней револьверной головкой; 8–9 — варианты исполнения противопинделя; 10 — задняя бабка; *б* — многоцелевого станка с ЧПУ фирмы *Graffenstaden* (Франция): 1 — основная плита; 2 — передвижное основание с делительным столом; 3 — встроенный поворотный стол; 4 — наклоняемый поворотный стол; 5 — удлиненная станина; 6 — двусторонняя станина; 7 и 8 — салазки на удлиненную и двустороннюю станины; 9, 10 и 11 — стойки с ходом соответственно 1000, 1500–2000, 650–800–1000 мм; 12 — механизм переключения магазинов; 13 — инструментальный магазин; 14 — накопитель магазинов; 15 — рельсовый путь для магазинов; 16 — тележка для магазинов; 17 — шпиндельный блок для ЭД мощностью 15 л.с.; 18, 19, 20 — гильзы шпинделя соответственно для большой, средней и малой скоростей; 21 — шпиндельный блок для ЭД мощностью 30 л.с.; 22, 23, 24 — гильзы шпинделя соответственно для большой, средней и малой скоростей; 25 и 26 — фреза и борштанга большого диаметра; 27, 28, 29, 30, 31, 32 и 33 — соответственно многошпиндельная, протяжная головки, головка с токарными резцами, пазофрезерная, угловая и фрезерная головки; 34 — универсальный поддон; 35 — трубка; 36 — балка; 37 — угловое приспособление; 38 — делительный стол

Применение модульного принципа построения станков с ЧПУ по первому и, особенно, по второму направлению позволяет:

- сократить время разработки, проектирования и изготовления станков для обработки установленной номенклатуры заготовок с получением заданных технических и технологических характеристик;
- снизить стоимость металлорежущих станков. Созданные на модульном принципе станки не обладают избыточными функциями, поэтому они экономичнее станков с универсальными возможностями;
- увеличить надежность работы станка за счет отработанности входящих в него модулей и наибольшего соответствия данной конструкции модулей выполняемой задаче;
- повысить точность станка. Фирма, которая профессионально занимается выпуском конкретного модуля, более качественно, быстрее и дешевле изготовит данный модуль;
- повысить переналаживаемость станков за счет возможности их более быстрой компоновки при наличии готовых узлов и механизмов;

- улучшить условия эксплуатации и ремонтпригодность за счет уменьшения разнообразия конструкций модулей и составляющих их элементов.

3.2. ПРИВОД ГЛАВНОГО ДВИЖЕНИЯ, УЗЕЛ ШПИНДЕЛЯ

Привод главного движения обеспечивает вращение шпинделя с заготовкой в токарных станках с ЧПУ или с оправкой и режущим инструментом на фрезерных, многоцелевых и шлифовальных станках с ЧПУ.

В строгальных, долбежных и протяжных станках этот привод обеспечивает возвратно-поступательное перемещение режущего инструмента.

Привод главного движения должен обеспечивать:

- заданный, достаточно широкий диапазон частот вращения шпинделя с определенным (иногда с бесступенчатым) регулированием $n_{\text{шп}}$ внутри этого диапазона. В связи с увеличением скоростей резания на станках с ЧПУ увеличивается $n_{\text{шп}}^{\text{max}}$. Так, для токарных станков с ЧПУ это значение находится в пределах 4000–8000 мин⁻¹, а для фрезерных и многоцелевых станков — в пределах 8000–18 000 мин⁻¹;
- для токарных станков с ЧПУ — поворот шпинделя в режиме позиционирования по координате C , режим резьбонарезания и регулирования частоты вращения для обточки с постоянной скоростью резания;
- для многоцелевых станков — ориентацию положения шпинделя для смены оправки с инструментом;
- необходимые для процесса резания мощность P и крутящий момент $M_{\text{кр}}$;
- включение, выключение, а также, если это необходимо, торможение и реверсирование вращения шпинделя;
- заданные конструктивно-технические требования по точности вращения шпинделя и удобству компоновки шпиндельной бабки на станке;
- достаточную надежность привода в процессе эксплуатации (в том числе ограничение перегрузок при переходных процессах);
- минимальные энергетические потери (высокий КПД привода) и ограничение уровня шума в допустимых пределах;
- рациональные габариты, минимально возможные материалоемкость и стоимость привода;
- широкое применение унифицированных и стандартизованных элементов привода.

В станках с ЧПУ преимущественно применяют электромеханические приводы главного движения, у которых электрическая часть

(электропривод) состоит из электродвигателя переменного или постоянного тока и преобразующих и управляющих устройств, а механическая — из отдельных передач (зубчатых, ременных и др.).

Типовые структурные схемы построения приводов главного движения станков с ЧПУ показаны на рис. 3.6.

Во всех приводах применяется регулируемый электропривод (РМ). Вращение от электродвигателя на шпиндельную бабку (ШБ) может передаваться непосредственно через муфту (рис. 3.6, а) или через клиноременную передачу (рис. 3.6, б, в). При этом коробка скоростей (КС) может быть встроена в шпиндельную бабку (рис. 3.6, б, в) или выполняться отдельно от шпинделя (Ш) (рис. 3.6, в).

Иногда в станках с ЧПУ применяется привод с двухступенчатой коробкой скоростей. В этом случае вращение от электродвигателя передается на шпиндель через блок из двух шестерен. Переключение этого блока поршнем гидроцилиндра позволяет получить два диапазона частот вращения шпинделя (низких и высоких). Регулирование частот вращения внутри каждого диапазона производится системой управления электродвигателя.

В настоящее время в ряде станков с ЧПУ применяют привод в виде мотора-шпинделя (рис. 3.6, г), когда на шпиндель устанавливается ротор встроенного электродвигателя.

На рис. 3.7 показана конструкция узла шпинделя многоцелевого станка с ЧПУ с горизонтальной компоновкой шпинделя модели *Vcenter-H500* фирмы *Victor* (Тайвань) со встроенным электродвигателем. Ротор 4 электродвигателя установлен на шпинделе 5, а статор с обмотками 3 — в корпусе 2 с каналами подачи воды для охлаждения. Также охлаждение проводится и передней опоры шпинделя подачей

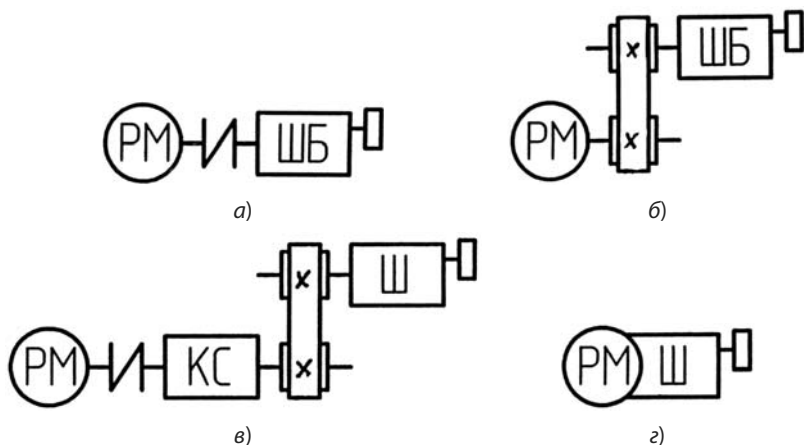


Рис. 3.6. Схемы построения приводов главного движения в станках с ЧПУ

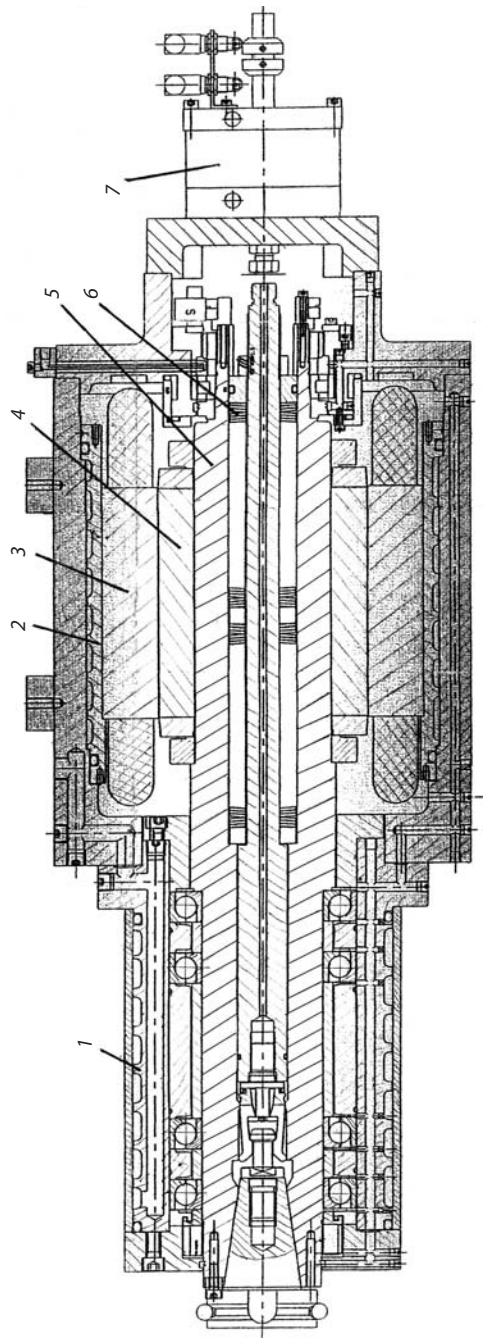


Рис. 3.7. Конструкция узла шпинделя со встроенным электродвигателем (мотор-шпиндель):

1 и 2 — соответственно гильзы для охлаждения передней опоры и статора ЭД; 3 — статор; 4 — ротор; 5 — шпиндель; 6 — тарельчатые пружины; 7 — гидроцилиндр разжима оправки с инструментом

воды по каналам на втулке 1. Зажим оправок в шпинделе станка проводится тарельчатыми пружинами 6, а разжим — гидроцилиндром 7.

Конечным звеном привода главного движения является шпиндельный узел и, в частности, сам шпиндель станка.

Шпиндельный узел (ШУ) должен обеспечивать:

- восприятие сил резания и сил от веса заготовки при малых статических, динамических и термических смещениях;
- возможность изменения в широких пределах частот вращения шпинделя;
- зажим-разжим заготовки (на токарных станках) или оправки с инструментом (на фрезерных и многоцелевых станках).

Критериями работоспособности ШУ являются: нагрузочная способность, точность вращения, быстроходность, упругие смещения от сил резания, нагрев опор и температурные деформации, статическая жесткость и др.

Нагрузочная способность ШУ определяется допустимым крутящим моментом и мощностью на шпинделе и зависит от нагрузочной способности опор шпинделя и силовых возможностей привода.

Точность ШУ оценивается радиальным, осевым и торцовым биением шпинделя.

Быстроходность оценивается по произведению $n_{\text{шп}} \cdot d$ (мм/мин), где $n_{\text{шп}}$ — частота вращения шпинделя (мин^{-1}), а d — диаметр под шейку переднего подшипника (мм).

Статическая жесткость определяется по радиальному и осевому смещениям конца шпинделя под действием прилагаемых к шпинделю сил. При этом суммарное смещение складывается из собственной деформации шпинделя и деформации его опор.

Жесткость и *нагрузочную способность* шпиндельных узлов станков с ЧПУ увеличивают, не только создавая более рациональные конструкции, но и применяя в качестве опор шпинделей новые подшипники качения. Например, для восприятия радиальных нагрузок шпинделями в современных станках применяют двухрядные роликовые подшипники с регулированием величины радиального зазора. Для восприятия осевых нагрузок, действующих на шпиндель, применяют прецизионные двухрядные упорно-радиальные шарикоподшипники с углом контакта 60° (сер. 178800). Их устанавливают рядом с двухрядным роликовым подшипником с цилиндрическими роликами в передней опоре шпинделя. Параметр быстроходности у них в 2–2,5 раза больше, чем у обычных упорных шарикоподшипников.

Наиболее характерными показателями динамического качества ШУ являются частота собственных колебаний, амплитудно-частотные характеристики, форма колебаний на собственной частоте. Часто виброустойчивость станков на 40–50% определяется ШУ.

Причинами вибраций могут быть дисбаланс вращающихся деталей (зубчатые колеса, шкивы, втулки и др.), прерывистый характер резания, переменная жесткость опор шпинделя и др.

Нагрев опор шпинделя приводит к изменению предварительного натяга в подшипниках (снижается работоспособность ШУ), а также к смещению конца шпинделя с заготовкой или с инструментом из-за температурных деформаций.

Энергетические потери в ШУ характеризуются моментом трения и мощностью холостого хода и учитываются при выборе опор шпинделя и назначении мощности приводного электродвигателя (особенно для скоростных шпинделей).

Как видно из сказанного выше, многие характеристики ШУ определяют тип опор шпинделя и их конструктивное исполнение.

На рис. 3.8 схематично показаны основные виды опор шпинделей. Наибольшее применение в ШУ станков с ЧПУ получили опоры с подшипниками качения.

В отдельных станках при специфических требованиях к точности, быстроходности, демпфированию, снижению потерь на трение при-

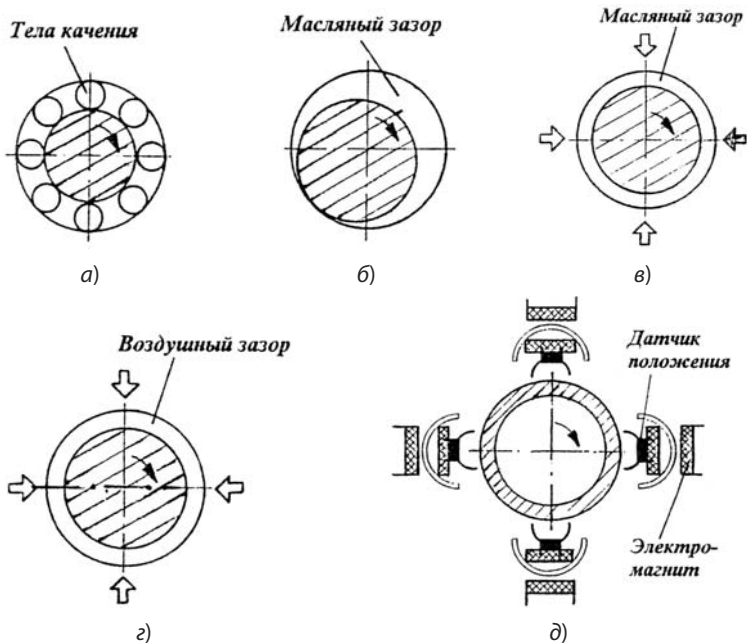


Рис. 3.8. Основные виды опор шпинделей:

а — подшипник качения; б и в — соответственно гидродинамический и гидростатический подшипники скольжения; г — подшипник с газовой смазкой; д — активный магнитный подшипник

меняются также опоры с подшипниками скольжения с жидкой смазкой (гидростатические и гидродинамические), с подшипниками с газовой смазкой (рис. 3.8, *з*), а в последнее время и с активными магнитными подшипниками (рис. 3.8, *д*).

На рис. 3.9 показан пример конструкции ШУ, достаточно широко применяемой в станках с ЧПУ.

В передней опоре шпинделя *б* установлены два подшипника: радиальный двухрядный роликоподшипник *1* и упорно-радиальный шарикоподшипник *2*. Роликоподшипник *1* воспринимает радиальную нагрузку на шпиндель. Радиальный зазор в подшипнике и предварительный натяг создаются и регулируются гайкой *4*. Внутреннее кольцо данного подшипника при осевом смещении перемещается по конусной шейке шпинделя *б* и деформируется в радиальном направлении. Величина натяга (смещения) регулируется шайбой *5*. Для съема такого роликоподшипника с конусной поверхности шпинделя производится подача масла под давлением по трубопроводу в осевое отверстие в шпинделе.

Для восприятия осевого усилия в данном ШУ (см. рис. 3.9) применяется упорно-радиальный подшипник, натяг в котором создается гайкой *4*, а величина натяга определяется осевым размером втулки *3*. В задней опоре ШУ применяется двухрядный роликоподшипник, аналогичный вышерассмотренному. Данный вариант конструкции ШУ применяется для низко- и среднескоростных ШУ.

Дальнейшие разработки подшипников качения в основном ведутся по двум направлениям: использование гибридных опор с керамическими телами качения и стальными кольцами; уменьшение диаметра шариков в обычных опорах.

К числу основных преимуществ керамических (из нитрида кремния) шариков в гибридных опорах относят на 60% меньшую по сравнению со стальными массу шариков, что ведет к существенному снижению центробежных сил, на 50% больший модуль упругости,

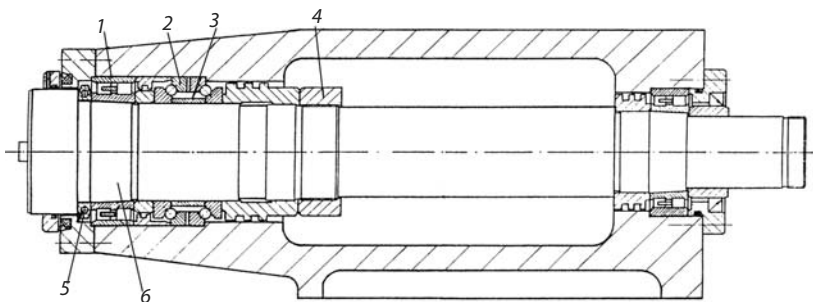


Рис. 3.9. Пример конструкции шпиндельного узла

увеличивающий жесткость, и минимальный коэффициент трения, снижающий износ и потери на трение, а также на 29% меньшее температурное расширение, что сокращает неконтролируемый предварительный натяг опоры.

В некоторых станках шпиндель изготавливают из углепластика, в результате чего он примерно в 6 раз легче металлического, а разность температурных деформаций его передней и задней шеек меньше на 20%.

Во фрезерных и многоцелевых станках шпиндель имеет конусное отверстие (конус 7 : 24), куда устанавливается хвостовик оправки, имеющий также конус 7 : 24, выполненный по ГОСТ 25827–93 с режущим инструментом. Перед установкой оправки шпиндель должен иметь строго ориентированное положение, а его посадочное отверстие часто продувается сжатым воздухом для удаления возможных загрязнений. Зажим хвостовика оправки с инструментом в шпинделе производится ее осевым смещением тарельчатыми пружинами с захватом за специальную часть хвостовика оправки лепестковой цангой либо с помощью шарикового захвата. Разжим оправок производится, как правило, гидроцилиндром с поршнем.

В токарных станках с ЧПУ на шпинделе устанавливается патрон для зажима обрабатываемой заготовки, который производится автоматически с помощью гидро- или пневмоцилиндра. Если в качестве заготовки применяется пруток, тогда в шпинделе устанавливаются подающая и зажимная цанги.

3.3. ПРИВОД ПОДАЧИ, ЕГО СТРУКТУРА, ЭЛЕМЕНТЫ КОНСТРУКЦИИ, ХАРАКТЕРИСТИКА

Привод подачи осуществляет перемещения рабочих органов станка, несущих режущий инструмент или обрабатываемую заготовку, в режиме установочных перемещений (позиционирование), когда работают поочередно отдельные приводы подач, либо в режиме формообразования (контурная обработка), когда одновременно работают несколько приводов подач.

К приводам подач предъявляются следующие требования:

- обеспечивать заданные скорости перемещения на рабочих и холостых ходах. Для рабочих ходов требуется бесступенчатое регулирование рабочих подач в заданном диапазоне. При этом скорость холостого хода может быть от 20 до 80 м/мин;
- обеспечивать необходимую тяговую силу в приводе для преодоления сил резания и перемещения рабочего органа станка при обработке заготовки;
- иметь высокую жесткость, что определяет точность перемещений рабочего органа и его динамическое качество;

- в механизмах привода подачи должны быть исключены зазоры и обеспечены минимальные силы трения;
- иметь высокую надежность работы, простоту изготовления и обслуживания.

В приводах подачи станков с ЧПУ используются электрический, электрогидравлический, гидравлический и пневматический следящие приводы. Но наиболее широкое распространение получил электрический следящий привод подачи, который обеспечивает удобство регулирования скорости в широком диапазоне с высокой точностью и быстродействием. В состав следящего электропривода конструктивно входят электродвигатель, силовой преобразователь (питающий электродвигатель), регуляторы, обеспечивающие требуемое качество регулирования, механические элементы привода, измерительные преобразователи систем обратной связи.

На рис. 3.10 показаны два варианта построения следящих электрических приводов подач (с применением круговых ИП в системе обратной связи).

В *первом* варианте (рис. 3.10, *а*) приводной электродвигатель 1 установлен и соединен через муфту 2 непосредственно с ходовым винтом шариковой винтовой пары 3. Это позволяет значительно упростить и сократить длину кинематической цепи привода подачи, увеличить ее крутильную жесткость и уменьшить число зазоров, влияющих на точность передачи движения. Однако при больших осевых габаритах приводного электродвигателя возникают проблемы с габаритными размерами станка. В этом случае можно применить *второй* вариант (рис. 3.10, *б*), когда электродвигатель 1 убирается внутрь станины станка, а вращение от него передается на ходовой винт 3 через зубчатую ременную передачу 2.

Для соединения вала электродвигателя с ходовым винтом применяются специальные муфты сильфонного типа. Конструкция такой муфты показана на рис. 3.11. Муфта 2 соединяет с помощью конических втулок 4 и 6, затягиваемых болтами 5 и 7, вал 3 электродвигателя с ходовым винтом 1 привода подачи. Указанная муфта обеспечивает эффективное соединение вала электродвигателя с ходовым винтом при высокой крутильной жесткости, что важно для точной передачи движений. Аналогичные муфты применяются для соединения ходового винта с валом кругового ИП.

На рис. 3.11 показана также опора ходового винта, в качестве которой применяется новый комбинированный подшипник 9 в комплекте двойного упорного роликового подшипника и радиального подшипника с игольчатыми роликами (ГОСТ 26290–90), устанавливаемого с предварительным натягом, который создается гайкой 8, а его величина определяется осевым размером втулки 10.

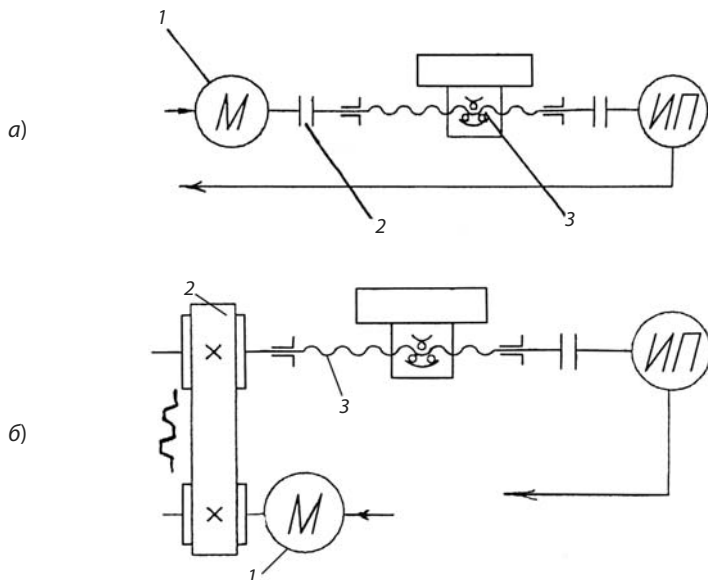


Рис. 3.10. Структурные схемы построения приводов подач:
 а — электродвигатель передает вращение непосредственно на ходовой винт;
 б — то же через зубчатую ременную передачу

В приводах подач станков вращательное движение электродвигателя преобразуется в поступательное перемещение рабочего органа в большинстве случаев с помощью передачи ходовой винт-гайка.

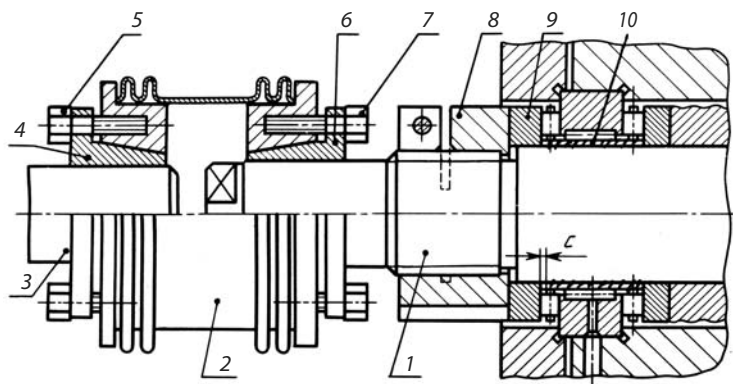


Рис. 3.11. Конструкция соединительной муфты и опоры ходового винта

Ранее в приводах подач обычных станков применялась передача ходовой винт–гайка с трением скольжения. Однако большие потери на трение (КПД этих передач не более 0,3), большая разница коэффициентов трения покоя и движения делали их неэффективными и даже неприемлемыми в станках с ЧПУ. Поэтому были разработаны шариковые винтовые пары (ШВП) с трением качения. В данной передаче винтовые поверхности гайки и ходового винта не контактируют непосредственно друг с другом, как это было в передаче с трением скольжения, а разделены перекатывающимися шариками (по аналогии с шарикоподшипником). В результате КПД этих передач достигает величины 0,9–0,95. Однако это преимущество обернулось недостатком — ШВП являются несамотормозящимися передачами, что необходимо учитывать при их применении.

Рассмотрение кинематики движений шариков 1 в ШВП при вращении ходового винта 3 (рис. 3.12) показало, что они, контактируя с вращающимся ходовым винтом и неподвижной гайкой 2 (она имеет осевое перемещение), будут перекатываться в сторону вращения ходового винта, но со скоростью $v_0 = \frac{1}{2}v_A$. В результате шарики могут выйти из зацепления винта и гайки. Их необходимо ловить в конце гайки и передавать в ее начало. Это делается двумя способами. В первом случае в гайке 1 применяют и устанавливают специальные вкладыши 2, замыкающие один виток гайки с шариками 3 (рис. 3.13). В результате шарики 3 перекатываются в одном витке резьбы гайки, замкнутом вкладышем 2. Таких вкладышей может быть 2–4 в зависимости от количества шариков в гайке.

При втором варианте возврат шариков производится специальными каналами возврата в виде одной–трех трубок, расположенных на поверхности гайки. Здесь уже длина канала возврата (трубки) получается достаточно большой, шарики там уже не перекатываются, а проталкиваются в начало гайки с потерями на трение по стенкам трубки. Фирма *ТНК Со.* (Япония) предложила конструкцию ШВП,

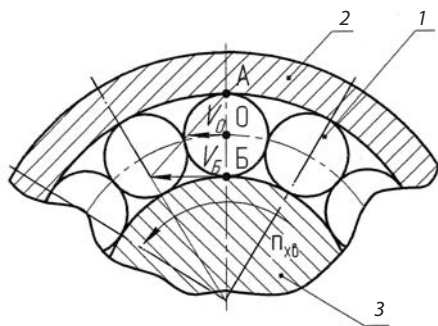


Рис. 3.12. Кинематика движений шариков в ШВП

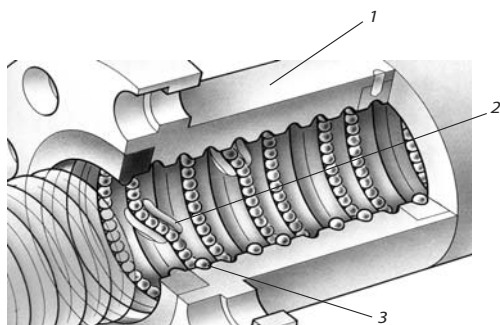


Рис. 3.13. Конструкция ШВП с каналом возврата шариков в одном витке резьбы в виде вкладыша

где шарики уже не контактируют друг с другом, а разделены втулками, в результате чего должны снижаться потери на трение. С другой стороны, наличие втулок снижает количество шариков в ШВП, а их количество определяет нагрузочную способность ШВП. Очевидно, в этом случае придется увеличивать осевые размеры гайки.

Учитывая высокие требования по точности перемещений рабочих органов, составные механизмы привода подачи должны иметь высокую жесткость, в них должны отсутствовать зазоры при сохранении высокого КПД. Эти требования предъявляются в первую очередь к ШВП и опорам ходового винта.

Исходя из этих требований в приводах подачи станков с ЧПУ применяются ШВП с предварительным натягом. Гайка в ШВП данной конструкции состоит из двух полугаек. При *первом* варианте полугайки взаимно разворачиваются на ходовом винте до устранения зазоров и создания необходимого предварительного натяга. После этого полугайки скрепляются. При *втором* и *третьем* вариантах полугайки взаимно разводятся или стягиваются в осевом направлении на ходовом винте. Предварительный натяг в ШВП в этом случае определяется толщиной регулировочной шайбы.

Указанные варианты устранения зазоров и создания предварительного натяга реализуются и применяются по-разному. Наиболее широко применяется первый вариант создания и регулирования предварительного натяга в ШВП.

На рис. 3.14 показаны разные конструктивные решения создания предварительного натяга по первому варианту.

В конструкции ШВП, показанной на рис 3.14, *а*, полугайки 2 и 4 имеют на фланцах зубья, которыми они входят в зацепление с зубьями в общем корпусе 3 гайки. Количество зубьев в левой и правой полугайках 2 и 4 отличается на один зуб (например, $Z_1 = 108$ зубьев, а $Z_2 = 109$ зубьев). Для создания и регулирования предварительного натяга в данной ШВП необходимо повернуть одну или

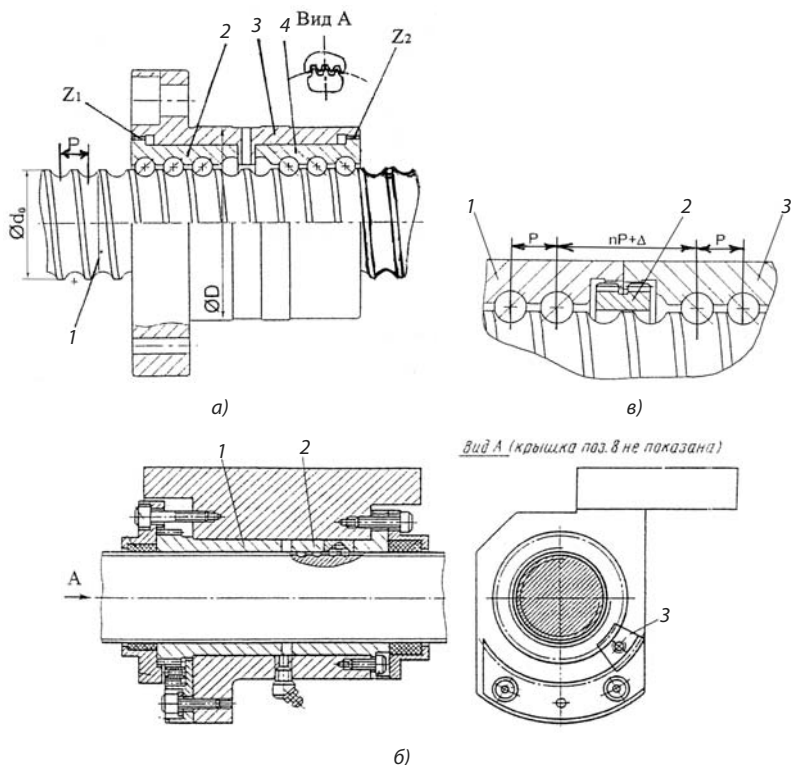


Рис. 3.14. Конструкции ШВП с разными способами создания предварительного натяга:

- а — взаимным поворотом полуэаек, имеющих разное число зубьев на фланце;
- б — поворотом одной полуэайки; в — разворотом полуэаек специальным блоком зубчатых колес

обе полуэайки на соответствующее количество зубьев, предварительно свинтив их с ходового винта 1 и вынув полуэайки из зацепления в общем корпусе.

На рис. 3.15 показан этот процесс регулирования. На конец ходового винта 1 надевается втулка 5, имеющая наружный диаметр, равный внутреннему диаметру винтовой канавки ходового винта 1. Гайка 4 свинчивается на эту втулку, после чего полуэайки 2 и 3 могут быть вынуты из зацепления с корпусом 4 и повернуты на определенное количество зубьев. После этого обе полуэайки вставляются обратно в корпус 4 и навинчиваются на ходовой винт, имея уже другой предварительный натяг.

Например, при повороте левой полуэайки, имеющей $Z_1 = 108$ зубьев, на один зуб получаем при шаге резьбы на ходовом винте

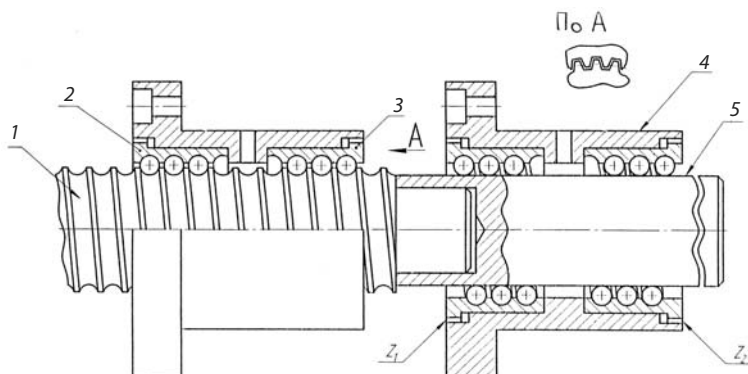


Рис. 3.15. Схема регулирования предварительного натяга в ШВП

$P = 10$ мм осевое смещение этой полурайки на величину $l = \frac{1}{108} \cdot P = \frac{1}{108} \cdot 10 \text{ мм} = 0,0926 \text{ мм}$ и соответствующее увеличение предварительного натяга. Для более тонкой регулировки необходимо вынуть из корпуса 3 обе полурайки 2 и 4 (см. рис. 3.14, а и рис. 3.15.) и повернуть их в одну и ту же сторону каждую на один зуб. В результате получаем осевое смещение этих полурайек (сближение) на величину $l = (\frac{1}{108} - \frac{1}{109}) \cdot P = 0,00085 \text{ мм}$, где P — шаг ходового винта, равный 10 мм.

В конструкции ШВП, показанной на рис. 3.14, б, регулирование предварительного натяга производится поворотом полурайки 1 относительно жестко закрепленной полурайки 2. Этот поворот производится сегментом 3, который имеет на внутреннем венце, например, 93 зуба, а на наружном — 92 зуба. Перестановка сегмента 3 на один зуб относительно полурайки 1 приводит к ее минимальному осевому смещению относительно полурайки 2. Перед регулировкой корпус с полурайками необходимо свинтить на цилиндрическую часть втулки 5 (см. рис. 3.15).

Аналогичный вышеописанному способ регулировки использован в конструкции ШВП на рис. 3.14, в, где разворот полурайек 1 и 3 производится специальным блоком зубчатых колес 2, имеющих также разное количество зубьев.

Важное значение для эффективной работы привода подачи имеют применяемые опоры ходового винта. На рис. 3.16 показаны две основные конструкции применяемых опор для ходовых винтов. В первой конструкции (рис. 3.16, а) осевую нагрузку воспринимает только одна левая опора с комплектом упорных роликовых и игольчатых радиальных подшипников. В этой конструкции возможно осевое смещение ходового винта, например, из-за температурных деформа-

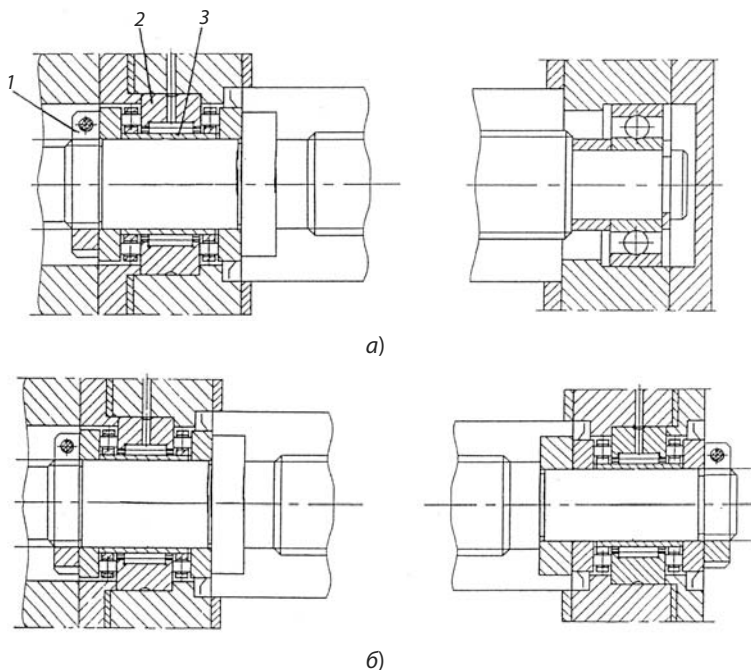


Рис. 3.16. Схемы комбинаций возможных опор ходового винта

ций вправо, где второй опорой является плавающий радиальный шарикоподшипник.

Во второй конструкции (рис. 3.16, б) осевую силу на ходовом винте воспринимают обе опоры, где установлены комплекты упорных роликовых и игольчатые радиальные подшипники. При применении этой конструкции ходовой винт предварительно растягивается, а в процессе работы из-за температурных деформаций он приходит в нормальное состояние.

При применении в системах обратной связи круговых ИП они устанавливаются либо в самом электродвигателе, либо на другом конце ходового винта, соединяясь с ним специальной муфтой, обеспечивающей высокую крутильную жесткость.

Дальнейшим развитием конструкции приводов подач станков с ЧПУ является применение в них в качестве приводов подач линейных электродвигателей, обеспечивающих скорости перемещений рабочих органов станка до 70 м/мин и выше.

В качестве примера на рис. 3.17 показана схема линейного трехфазного синхронного электродвигателя с возбуждением от постоянных магнитов модели 1FN фирмы Siemens (ФРГ).

Данные электродвигатели состоят из первичной 1 и вторичной 2 частей.

Первичная часть имеет фиксированные размеры, вторичная часть состоит из отдельных частей (сегментов) в зависимости от величины рабочего хода.

Первичная часть заключена в цельнометаллический кожух из нержавеющей стали, что обеспечивает ей высокую механическую жесткость и невосприимчивость к загрязнениям, а также высокую стойкость к агрессивным жидкостям.

Возникающее практически только в первичной части тепло отводится через встроенный водяной радиатор.

Благодаря большому воздушному зазору между первичной и вторичной частями снижаются требования к подготовке монтажных поверхностей. При этом монтажный допуск для воздушного зазора составляет плюс-минус 0,3 мм.

К числу основных преимуществ линейных приводов относится высокое качество их регулирования, в частности малая инерционность и высокая точность позиционирования при высоких скоростях перемещений и ускорениях. Исключение передаточных элементов в виде ходового винта и гайки делает линейные приводы фактически неизнашиваемыми, безззорными при реверсе, более простыми в монтаже и обладающими более высокой статической и динамической жесткостью.

Основными недостатками линейных двигателей является избыточный нагрев и, как следствие, возникновение температурных деформаций станка, а также образование паразитных магнитных по-

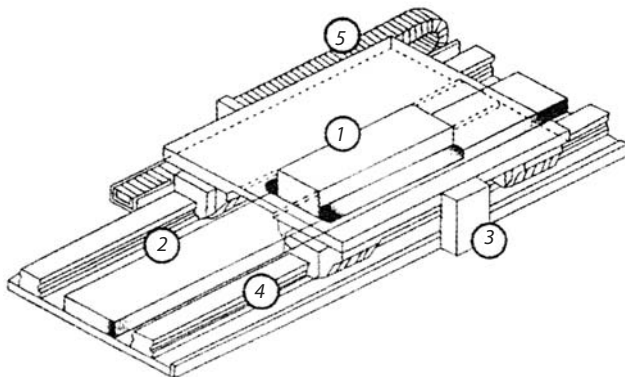


Рис. 3.17. Схема линейного электродвигателя:
1 — первичная часть; 2 — вторичная часть; 3 — ИП системы обратной связи;
4 — направляющие; 5 — силовые кабели

лей, усложнение отвода стружки и пока высокая стоимость такого привода.

На многих многоцелевых станках с ЧПУ с вертикальной и, особенно, с горизонтальной компоновкой шпинделя применяются поворотные столы (см. рис. 2.8). А на некоторых станках кроме одного поворотного стола 1 применяется дополнительно второй качающийся стол 2, позволяющий производить кроме поворота заготовки и ее наклон для обработки наклонных отверстий, плоскостей и других поверхностей (рис. 3.18).

Такие типы столов фирма, как правило, разрабатывает самостоятельно совместно со всей конструкцией станка.

Наряду с этим, в настоящее время ряд специализированных фирм разрабатывают и изготавливают разные типоразмеры таких столов, которые могут быть установлены как на разрабатываемый, так и на имеющийся станок с ЧПУ.

В качестве привода таких столов чаще всего используется регулируемый электродвигатель в комплекте с червячным редуктором 3, к которому в этом случае предъявляются высокие требования по точности поворота червячного колеса со столом.

В настоящее время проводится работа по упрощению конструкции этого привода на основе применения моментных электродвигателей, встраиваемых непосредственно в конструкцию стола.

В качестве примера на рис. 3.19 показан общий вид такого электродвигателя модели 1FW6 фирмы *Siemens* (ФРГ).

Он представляет собой трехфазный синхронный электродвигатель переменного тока с возбуждением от постоянных магнитов с ротором 1 с большим количеством полюсов и статором 2. ЭД имеет водяное охлаждение.

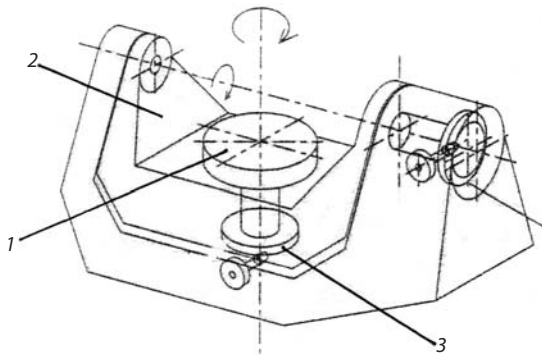


Рис. 3.18. Комплект из поворотного и наклонного столов

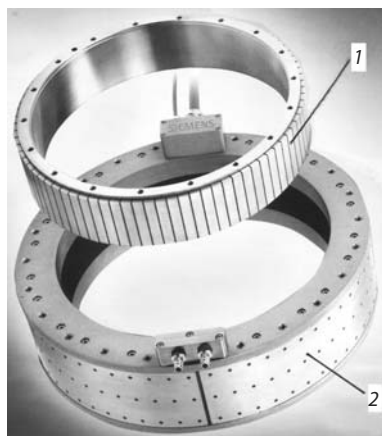


Рис. 3.19. Схема моментного электродвигателя для поворотных столов:
1 — ротор; 2 — статор

Для полного комплекта при установке в конструкцию стола необходимы опорные подшипники и измерительные преобразователи угловых перемещений.

3.4. НАПРАВЛЯЮЩИЕ, ИХ ВИДЫ, КОНСТРУКТИВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ

Направляющие станка с ЧПУ являются опорами его подвижных рабочих органов. Они обеспечивают требуемое взаимное расположение рабочих органов, возможность их относительных перемещений, правильность траектории их движения и точность перестановки, а также восприятие внешних сил резания и сил тяжести.

Направляющие обеспечивают только одну степень свободы перемещений соответствующего рабочего органа станка. Исключение других степеней свободы достигается соответствующим расположением поверхностей направляющих или путем силового замыкания (действием сил тяжести, планками, подпружиненными роликами и др.).

К направляющим станков с ЧПУ предъявляются следующие основные требования:

- обеспечение точности относительного движения рабочих органов;
- высокая точностная надежность (сохранение заданной точности в течение установленного периода эксплуатации станка);
- обеспечение заданной несущей нагрузочной способности;
- малые силы трения и, соответственно, малый износ;
- высокая статическая и динамическая жесткость;

- обеспечение равномерного движения, особенно на малых скоростях;
- возможность регулировки зазора-натяга;
- простота конструкции и изготовления, возможность применения нормализованных элементов направляющих.

В станках с ЧПУ применяются направляющие скольжения, качения и комбинированные направляющие. По характеру трения направляющие скольжения делятся на направляющие полужидкостного трения, жидкостного и газового трения. *Полужидкостное трение* возникает на смазанных направляющих станков, в которых контактирующие поверхности не разделяются полностью. Если смазка разделяет поверхности полностью, то трение становится жидкостным. *Жидкостное трение* имеет место в гидростатических и гидродинамических направляющих. *Газовое трение* применяется в аэростатических направляющих. Направляющие качения подразделяются по виду тел качения на шариковые, роликовые и игольчатые.

Указанные выше типы направляющих имеют свои преимущества и недостатки, поэтому в ряде случаев применяют комбинированные направляющие, как бы суммирующие преимущества отдельных типов направляющих.

На рис. 3.20 показаны схемы различных форм и типов направляющих.

В зависимости от траектории движения подвижного рабочего органа станка направляющие делятся на прямолинейные и круговые. Они могут быть горизонтальные, вертикальные и наклонные. По форме поперечного сечения наиболее распространены прямоугольные (плоские, рис. 3.20, б), треугольные (призматические, рис. 3.20, в), реже применяются трапециевидные (ласточкин хвост) и круглые (цилиндрические) направляющие (рис. 3.20, а).

Часто используют сочетание различных форм, когда одна из направляющих выполнена прямоугольной, а другая — треугольной или в виде половины трапециевидной формы.

Каждую из форм можно применять в виде охватывающих и охватываемых направляющих. Охватываемые направляющие плохо удерживают смазку, охватывающие удерживают ее хорошо, но нуждаются в надежной защите от загрязнений.

Прямоугольные направляющие отличаются технологичностью в изготовлении и простотой контроля геометрической точности. Они находят все большее применение в станках с ЧПУ, так как отличаются простотой и надежностью регулировки зазоров-натягов и способны воспринимать большие нагрузки. *Треугольные* направляющие обладают свойством автоматического выбора зазора под действием собственного веса узла, но угловое расположение рабочих граней усложняет их изготовление и контроль.

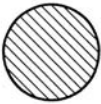
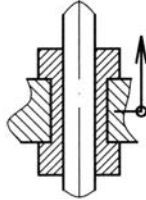
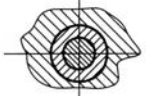
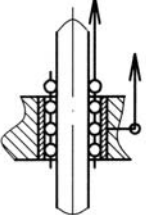
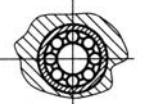
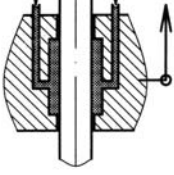




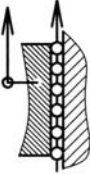

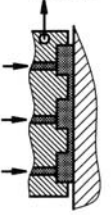
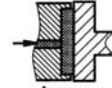

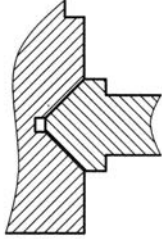
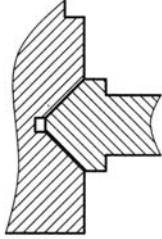
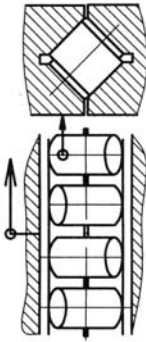
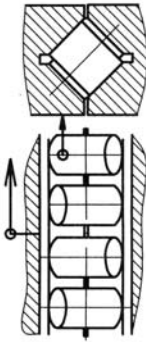
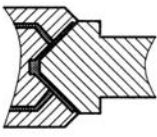
		I тип	II тип	III тип
а)		 	 	 
б)		 	 	 
в)		 	 	

Рис. 3.20. Схемы различных конструктивных форм и типов направляющих:

а — круглые (цилиндрические); б — прямоугольные (призматические); / тип — скольжения; // тип — качения;
 III тип — гидростатические

Трапецевидные направляющие отличаются компактностью конструкции, но сложны в изготовлении и контроле, к тому же плохо работают на отрыв при больших опрокидывающих моментах. Регулирование зазора у них относительно простое, но не обеспечивает высокой точности сопряжений.

Круглые (цилиндрические) направляющие применяются редко. В охватываемом варианте они не обеспечивают большой жесткости из-за прогиба скалок (штанг), закрепленных на концах, поэтому их применяют в основном при малой длине хода. В охватываемом варианте у круглых направляющих сложно изготовить полукруглый профиль.

В станках с ЧПУ широко применяются *направляющие скольжения с полужидкостным трением* (в дальнейшем — *направляющие скольжения*). Их преимуществами являются простота и компактность конструкции, высокая нагрузочная способность и жесткость, хорошие демпфирующие свойства, меньшие затраты на изготовление и эксплуатацию. Они обеспечивают надежную фиксацию рабочего органа станка после его перестановки в заданную позицию. Однако обычные направляющие скольжения имеют ряд недостатков, и в первую очередь большие потери на трение.

Непосредственный контакт сопряженных поверхностей в направляющих скольжения вызывает большую величину сил трения, которые к тому же непостоянны. В зависимости от нагрузки, скорости, типа системы смазывания и количества смазочного материала эти направляющие могут работать в режиме сухого, граничного и полужидкостного трения. Для этих направляющих существенную разницу составляют силы трения покоя (силы трогания) по сравнению с силами трения движения. Это приводит к скачкообразному движению узлов при малых скоростях, что крайне нежелательно для станков с ЧПУ. Значительное трение вызывает износ и снижает долговечность направляющих.

Устранение этих недостатков направляющих скольжения или их снижение до приемлемых величин проводится по различным направлениям: разрабатываются и внедряются специальные антискачковые масла; применяются накладки из антифрикционных материалов. Если коэффициент трения покоя в паре чугун–чугун при обычных маслах равен 0,21–0,28, то применение антискачкового масла ИНСП снижает его до 0,075–0,09. Применение накладок из полимерных материалов на основе фторопласта снижает коэффициент трения покоя до 0,04–0,06.

Материал направляющих в значительной мере определяет их износостойкость и плавность движения узлов. Во избежание крайне нежелательного явления — схватывания пару трения комплектуют из разнородных материалов, имеющих различный состав, структуру

и твердость. Направляющие, относительно которых перемещаются подвижные узлы, делают более твердыми и износостойкими. Этим обеспечивается длительное сохранение точности, так как при движении копируется форма неподвижных направляющих.

Направляющие из серого чугуна, выполненные как одно целое с базовой деталью, наиболее просты и дешевы, но при интенсивной работе не обеспечивают необходимой долговечности. Их износостойкость повышают закалкой токами высокой частоты или газопламенным методом, а также применением специальных покрытий (слоем молибдена или сплавами с содержанием хрома).

Чтобы повысить износостойкость, получить более благоприятные характеристики трения, обеспечить равномерность подачи, применяют накладные направляющие скольжения. Накладные направляющие на станинах (и других, более длинных элементах пары трения) изготавливают обычно из стали с упрочнением до высокой твердости, что повышает износостойкость пары трения в сравнении с парой чугун—чугун в 2,5 раза [13]. Их выполняют в виде массивных планок, иногда — врезанных и клеенных пластин толщиной 4–8 мм из стали ШХ15. Планки крепят винтами с нерабочей стороны, при невозможности — отверстия под головки винтов плотно закрывают пробками из стали ШХ15.

Массивные планки в зависимости от формы сечения, толщины и длины выполняют из упрочненных легированных сталей. Применяют также покрытия направляющих станин износостойкими материалами — твердым хромом, напыление молибденом. Перспективно применение керамики на основе оксида алюминия, износостойкость которой при абразивном изнашивании многократно выше, чем у закаленной стали.

Важной задачей для направляющих скольжения является их защита от загрязнений отходами обработки и попадания на них СОЖ.

Жидкостное трение между направляющими можно обеспечить либо за счет гидродинамического эффекта, либо подачей смазки между трущимися поверхностями под давлением. Достоинство жидкостного трения в том, что отсутствует износ направляющих, обеспечиваются высокие демпфирующие свойства и плавность движения.

Гидродинамические направляющие отличаются простотой конструкции, но хорошо работают лишь при достаточно больших скоростях скольжения, которым соответствуют скорости главного движения (продольно-строгоальные, карусельные станки). Гидродинамический эффект, т.е. эффект всплывания подвижного узла, создается при помощи пологих клиновых скосов между смазочными канавками, выполненных на рабочей длине направляющих. В образованные таким образом сужающиеся зазоры при движении затягивается смазка и обеспечивается разделение трущихся поверхностей

слоем жидкости. Недостатком гидродинамических направляющих является нарушение жидкостного трения в периоды разгона и торможения подвижного узла, что приводит их к износу.

Гидростатические направляющие имеют более широкое применение. Они обеспечивают жидкостное трение при любых скоростях скольжения, поэтому имеют очень малое трение, высокую демпфирующую способность, достаточную жесткость (хотя ниже, чем у направляющих скольжения и качения). Масляный слой в этих направляющих обеспечивается подачей масла под давлением. Его толщина составляет 10–50 мкм, в отдельных случаях — до 100 мкм. Масло под давлением подается в карманы на направляющих, глубина которых составляет обычно 1–4 мм. По длине направляющих выполняют несколько каналов, разделенных дренажными канавками.

Гидростатические направляющие бывают незамкнутыми (без планок) и замкнутыми, в которых масло подается как на основные грани, так и на вспомогательные (планки). Первые применяют обычно, если нормальная сила, действующая на рабочий узел станка, велика и приблизительно постоянна (например, при большой массе подвижного узла). Вторые воспринимают опрокидывающие моменты, имеют значительно более высокую жесткость, но требуют тщательного изготовления.

Недостатки данных направляющих: необходимость в гидравлической аппаратуре для подачи, циркуляции, фильтрации и сбора масла; существенный нагрев; трудность фиксации положения рабочего органа; повышенные требования к уходу в процессе эксплуатации.

Применяются гидростатические направляющие в прецизионных станках, а также в тяжелых и уникальных станках с ЧПУ.

Направляющие с газовой смазкой — аэростатические по принципу работы похожи на гидростатические направляющие. Только аэростатические направляющие при работе разделены слоем воздуха, подаваемого в рабочий зазор под давлением. В результате они имеют самое низкое трение, высокую долговечность и точность позиционирования. При прекращении подачи воздуха обеспечивается надежная фиксация рабочего органа станка. Однако нагрузочная способность, жесткость и динамические характеристики у них несколько ниже, чем у других видов направляющих.

Применяются такие направляющие в станках с ЧПУ для обработки печатных плат, в координатно-измерительных машинах, а также в ряде других станков.

Направляющие качения из-за большой сложности и стоимости ранее применялись достаточно редко. В настоящее время в связи с разработкой и выпуском станков с ЧПУ эти направляющие применяются достаточно широко.

Основные преимущества направляющих качения: очень малые потери на трение, благодаря чему обеспечивается равномерное и плавное перемещение рабочего органа на малых скоростях; высокая точность установочных перемещений; малые тепловыделения; отсутствие всплывания рабочего органа при высоких скоростях перемещений; малые (в том числе и при трогании с места) требуемые усилия перемещения; высокая точностная надежность при хорошей защите от загрязнений; простота системы смазки. При применении стальных закаленных направляющих с предварительным натягом обеспечивается устранение зазоров и достаточно высокая жесткость при относительно высокой нагрузочной способности.

Главные недостатки этих направляющих — высокая стоимость, трудоемкость в изготовлении и монтаже на станке. Возможно получение пониженного демпфирования вдоль направляющих при отсутствии перемещения или при перемещении с малыми скоростями. Эти направляющие имеют повышенную чувствительность к загрязнению и требуют хорошей защиты.

По типу тел качения данные направляющие подразделяются на шариковые, роликовые и игольчатые (рис. 3.21).

По конструкции направляющие качения могут быть без возврата тел качения и с возвратом по специальному каналу или при перекачивании в замкнутом объеме.

В *первом* варианте направляющих тела качения располагаются в сепараторе. При перемещении подвижного рабочего органа шарики (или ролики) вместе с сепаратором будут перекачиваться и перемещаться вслед за подвижным рабочим органом, но со скоростью, в 2 раза меньшей. При большой величине хода они отстанут и рабочий орган может опрокинуться. Поэтому данные конструкции направляющих применяются только при малых перемещениях. Этого не происходит при перемещении направляющих (шариковых и роликовых), имеющих *канал возврата*. Данные направляющие могут выполняться в двух вариантах. В *первом* варианте шарики (есть вариант и с роликами) располагаются на всю длину направляющей подвижного рабочего органа. Аналогичную длину имеет и канал возврата.

При *втором* варианте направляющие выполнены в виде отдельных роликовых блоков (танкеток), которые крепятся на подвижном рабочем органе (рис. 3.22). Их устанавливается несколько штук в зависимости от величины хода и необходимой нагрузочной способности. Данные роликовые блоки нормализованы и выпускаются специализированными фирмами.

Направляющие качения в станках с ЧПУ применяются с предварительным натягом, который устраняет зазоры и обеспечивает значительное повышение их жесткости. Предварительный натяг может

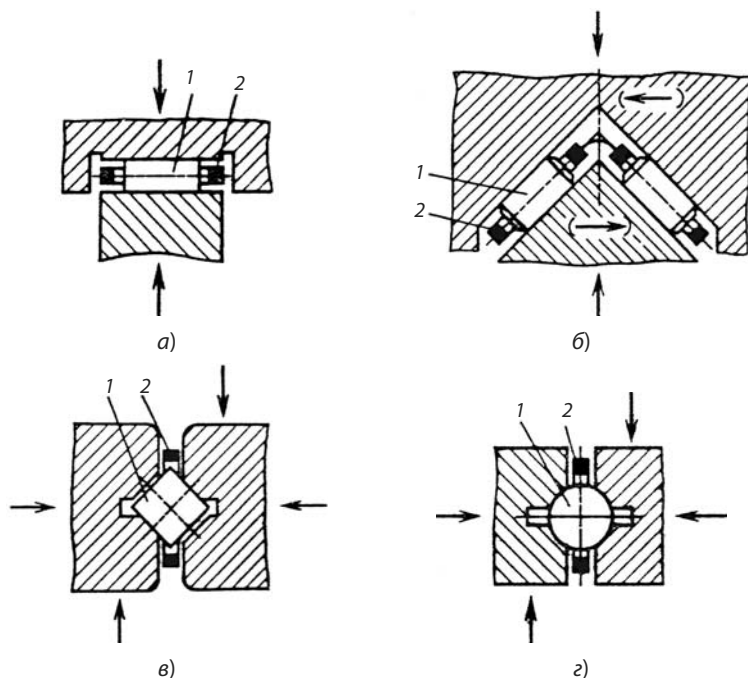


Рис. 3.21. Формы тел качения:

а — для плоских направляющих; *б* — для призматических направляющих;
в — с крестовым расположением роликов; *г* — шариковая; 1 — тела качения;
 2 — сепараторы. Стрелки указывают направление действия внешних сил

быть получен за счет веса узла и внешней нагрузки в незамкнутых направляющих качения. Недостаток этого способа — невозможность выбора оптимальной величины натяга и его регулирования. Направляющие качения без натяга обычно выполняют чугунами и применяют при малых опрокидывающих моментах или при большой массе узла, когда нет опасности отрыва при приложении рабочей нагрузки. Большинство же направляющих выполняют стальными, закаленными до твердости 59–62 HRC, с предварительным натягом.

В замкнутых направляющих предварительный натяг создают двумя способами: пригонкой размеров или регулируемыми устройствами. *Первый* из них прост конструктивно и дает высокую жесткость, однако натяг невозможно регулировать в процессе эксплуатации и необходимо выдерживать размеры с большой точностью, так как максимальные величины натяга для шариковых направляющих не должны превышать 7–10 мкм, а для роликовых — 10–15 мкм. Рекомендуемые величины натяга обычно составляют

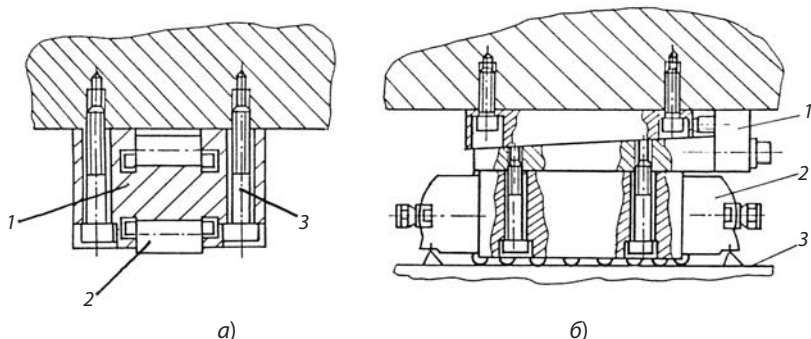


Рис. 3.22. Роликовая опора (танкетка), способ ее крепления и создания предварительного натяга:

а — конструкция (1 — корпус опоры; 2 — ролики; 3 — болты крепления опоры к рабочему органу станка); б — создание предварительного натяга (1 — регулировочный клин; 2 — роликовый блок; 3 — направляющая станины)

5–6 мкм [13]. Данные направляющие, имея предварительный натяг, воспринимают все виды внешних сил.

Второй способ создания предварительного натяга лишен этого недостатка, но сложнее конструктивно. Натяг создается за счет регулировочных элементов (клиньями, винтами, пружинами). При этом желательно, чтобы эти устройства во избежание снижения жесткости не воспринимали основную нагрузку.

На рис. 3.22 был показан вариант установки роликовых блоков и создание предварительного натяга. Направляющие качения для станков с ЧПУ выпускают многие специализированные фирмы.

В станках с ЧПУ применяются также *комбинированные направляющие качения-скольжения*. Их применение позволяет совмещать положительные свойства направляющих скольжения (простота и компактность конструкции, хорошее демпфирование колебаний, более низкая стоимость) и направляющих качения (малые потери на трение, высокая износостойкость, отсутствие переориентаций рабочего органа станка при реверсе и др.).

Их недостатки также являются совместными, которые присущи как направляющим скольжения, так и качения.

В отдельных случаях применяется комбинация гидростатических опор и направляющих качения в качестве способа создания замкнутых гидростатических опор. Подпружиненные катки могут обеспечить надежное замыкание гидростатических опор даже при отсутствии внешней постоянной нагрузки.

Важным вопросом является *надежная защита направляющих* для предохранения от попадания на рабочие поверхности грязи, мелкой стружки и абразивной пыли. Отсутствие надежных защитных устройств в направляющих скольжения значительно ускоряет их из-

нос. Как уже отмечалось, наиболее чувствительны к загрязнению направляющие качения.

На рис. 3.23 показаны схемы основных типов защитных устройств для направляющих.

Стационарные литые чугунные или сварные стальные щитки, которые крепятся к подвижному рабочему органу (рис. 3.23, *а*), защищают направляющие от механических повреждений и попадания крупной стружки.

Телескопические щитки (рис. 3.23, *б*) применяют в средних и тяжелых станках при большой длине хода. Они представляют собой набор взаимно подвижных щитков с уплотнениями в подвижных соединениях.

Защитные ленты также применяют при большой длине хода (рис. 3.23, *в, г, д*). Они надежно защищают направляющие. Ленты бывают стальные, текстуриниловые, иногда применяют полиамидную пленку, армированную капроновой сеткой. Стальные ленты обязательно должны быть закалены.

Гармоникообразные меха (рис. 3.23, *е*) являются защитным устройством, обеспечивающим высокую герметичность, и широко применяются в шлифовальных и прецизионных станках. Основной

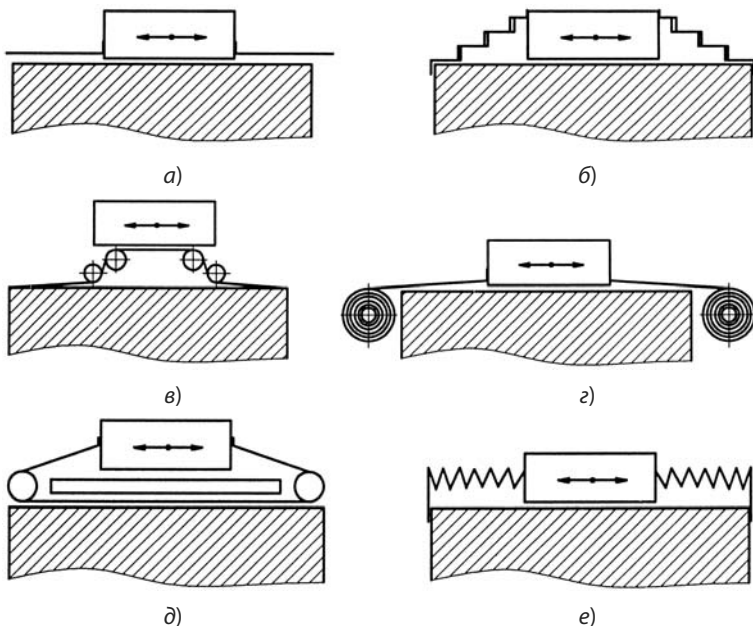


Рис. 3.23. Основные типы защитных устройств для направляющих:
а — щитки; *б* — телескопические щитки; *в, г, д* — лента; *е* — гармоникообразные меха

их недостаток связан с увеличением габаритов вдоль направляющих на величину сложенного устройства. Межа изготавливают из различных полимерных материалов, обеспечивающих высокую долговечность устройства.

Применение того или иного защитного устройства определяется конкретными условиями работы и особенностями конструкции направляющих и станка в целом.

3.5. СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОЙ СМЕНЫ РЕЖУЩИХ ИНСТРУМЕНТОВ

Обработка заготовок на станках с ЧПУ производится, как правило, последовательно несколькими режущими инструментами. Это требует наличия на станке соответствующего комплекта, собранного и настроенного в специальных державках и оправках, режущего инструмента, установленного в револьверной головке (для токарных станков с ЧПУ) или в инструментальном магазине (для многоцелевых станков).

Процесс использования режущих инструментов на станках с ЧПУ включает в общем виде четыре этапа (рис. 3.24):

1) комплектацию и сборку режущих инструментов, взятых на складе, путем их установки в оправки и на державки; их последующую размерную настройку на специальных приборах; складирование собранных и настроенных оправок и инструментальных блоков;

2) подборку необходимого комплекта собранного и настроенного инструмента на складе для обработки установленной номенклатуры заготовок, его установку в инструментальный магазин или в револьверную головку на станке;

3) последовательный выбор в процессе обработки заготовки нужного инструмента, его автоматическую смену с установкой и закреплением на рабочем органе станка; обработку заготовки, раскрепление, съём и возврат данного инструмента в магазин с последующей установкой следующего инструмента или смену инструмента путем поворота револьверной головки;

4) возврат комплекта инструмента после обработки соответствующих партий заготовок на склад, а при необходимости — разборку оправок и резцедержавок с режущим инструментом для его повторной заточки или замены.

Последовательный выбор в процессе обработки заготовки нужного инструмента в инструментальном магазине станка, его автоматическая установка и закрепление на рабочем органе станка, последующий возврат инструмента в магазин осуществляются системой автоматической смены инструмента (АСИ).



Рис. 3.24. Схема использования режущих инструментов на станках с ЧПУ

В общем виде система АСИ включает в себя:

- инструментальный магазин для накопления инструментов (на токарных станках с ЧПУ — одну, две или три револьверные головки);
- устройство выбора в инструментальном магазине или револьверной головке нужного инструмента;
- автооператор для смены инструмента (в некоторых случаях он отсутствует);
- механизм зажима оправки или резцедержавки с инструментом на рабочем органе станка.

К системам автоматической смены инструментов предъявляются следующие основные требования:

- достаточная вместимость накопителя инструментов (револьверной головки, инструментального магазина);
- надежная идентификация инструментов в магазине;
- минимальные затраты времени на смену инструментов;
- надежный захват оправок и державок с инструментами при их автоматической смене;
- точное позиционирование оправок и державок с инструментами при их установке на рабочие органы станка;
- минимально возможное расстояние от инструментального магазина до рабочих органов станка;

- принцип работы и расположение системы АСИ на станке не должны ограничивать рабочую зону станка и должны быть такими, чтобы было невозможно столкновение заменяемого режущего инструмента с обрабатываемой заготовкой;
- высокая надежность функционирования системы АСИ;
- предохранение посадочных поверхностей оправок и державок инструмента и рабочих органов станка от загрязнения;
- удобство обслуживания и соблюдение требований техники безопасности;

На рис. 3.25 показана классификация систем автоматической смены инструментов применительно к токарным и многоцелевым станкам.

Способ накопления на станке режущих инструментов, выбранная исходя из этого компоновка и конструкция инструментального магазина (или револьверной головки), способ выбора, смены и закрепления оправок и державок с режущим инструментом на рабочем органе станка оказывают значительное влияние как на компоновку и конструкцию станка, так и на его эксплуатационные характерис-



Рис. 3.25. Классификация систем автоматической смены инструмента

тики (технологические возможности, производительность и надежность работы и др.).

3.5.1. Требования к режущим и вспомогательным инструментам при их автоматической смене, их характеристики

Режущий инструмент для станков с ЧПУ должен иметь высокую стойкость, возможность предварительной настройки на размер вне станка (совместно с применяемым вспомогательным инструментом); быстросменность при переналадке на изготовление другой детали или замене затупившегося инструмента; высокую точность повторения положения режущих кромок инструмента относительно установочных баз; технологичность в изготовлении и относительную простоту конструкции.

На станках с ЧПУ в настоящее время применяют в основном режущие инструменты с механическим креплением многогранных твердосплавных режущих пластинок, а также из минералокерамики и сверхтвердых материалов. Режущие инструменты закрепляются в шпинделе или на суппорте станка с помощью разнообразных вспомогательных инструментов: оправок, втулок, патронов, державок, блоков.

Конструкцию вспомогательного инструмента определяют его основные элементы: поверхности, предназначенные для его крепления на рабочих органах станка; поверхности, предназначенные для крепления на нем режущих инструментов.

Устройства, осуществляющие крепление вспомогательного инструмента (оправок и державок) на станке, определяют конструкцию хвостовика (у оправок) и базовых поверхностей (у державок), которые унифицированы для применения на разных станках.

Для установки и регулирования положения режущих инструментов в оправках применяют различные по конструкции переходники (адаптеры) (рис. 3.26).

Разработаны комплекты унифицированного вспомогательного инструмента, которые образуют инструментальные системы для соответствующих групп станков с ЧПУ. Структура и характеристика таких систем для токарных, фрезерных и многоцелевых станков описаны в работах [4, 7, 9].

Унификация вспомогательного инструмента основана на принципе взаимозаменяемости (элементы должны комплектоваться в инструментальные блоки без дополнительной пригонки) и рационального разделения конструкций инструментальных блоков на агрегаты. Каждый агрегат выполняет определенную функцию и может многократно использоваться при создании различных инструментальных блоков с необходимой точностью и жесткостью соединения.

К вспомогательному инструменту предъявляют следующие требования:

- его номенклатура и стоимость должны быть экономически целесообразными;
- при установке и креплении режущего инструмента должны обеспечиваться требуемая точность, жесткость и виброустойчивость с учетом интенсивных режимов работы;
- должна быть предусмотрена возможность (в необходимых случаях) регулирования положения режущего инструмента;
- обслуживание должно быть удобным (при необходимости — быстроменность);
- изготовление и конструкция должны быть простыми;
- масса вспомогательного инструмента не должна превышать определенной величины для исключения трудностей при смене режущего инструмента;
- посадочные места оправок (хвостовики) и резцедержавок следует выполнять с высокой точностью для обеспечения идентичности их положения при установке и креплении в одном и том же шпинделе или на одном и том же суппорте станка, а также на приборе настройки режущих инструментов.

Для закрепления режущего инструмента на фрезерных и многоцелевых станках применяют оправки, размеры которых регламентированы ГОСТ 25827—93. Данный стандарт распространяется на хвостовики оправок с конусом 7 : 24 для их ручной и автоматической смены.

В последние годы получает все большее развитие высокоскоростная обработка заготовок, что потребовало значительного увеличения частот вращения шпинделя в станках с ЧПУ.

Было установлено, что широко применяющиеся на многоцелевых станках оправки с коническим хвостовиком (конус 7 : 24) имеют

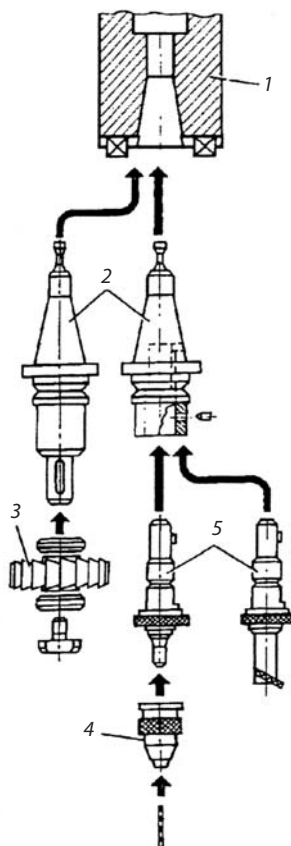


Рис. 3.26. Схема построения инструментального комплекта для многоцелевых станков:

- 1 — шпиндель; 2 — оправки;
3 — фреза; 4 — патрон для крепления сверла;
5 — переходные оправки

слишком большую массу. При высоких частотах вращения шпинделя это приводит к появлению осевой составляющей центробежной силы, сопоставимой с силой закрепления оправки в шпинделе. Так как эти силы направлены в противоположные стороны, то может произойти раскрепление оправки, нарушение базирования ее хвостовика в шпинделе станка и, следовательно, снижение жесткости и точности этого крепления.

Фирмой *OTT JAKOV* (ФРГ) были разработаны новые полые оправки с укороченным конусным хвостовиком *HSK*.

В нашей стране вышел ГОСТ Р 51726–2001, регламентирующий крепление оправок с полым коническим хвостовиком *HSK* типа *A*. В стандарте полностью отражены требования стандарта ДИН 69063–1–95 «Крепление инструментов с полым коническим хвостовиком (*HSK*) типа *A*. Присоединительные размеры».

Современные токарные станки с ЧПУ в большинстве случаев имеют револьверную головку (одну, две или три), в 6, 8, 12, 16 позиции которой устанавливают различные режущие инструменты. Их установку осуществляют также с применением вспомогательного инструмента (резцедержавок).

В настоящее время для токарных станков с ЧПУ разработаны две подсистемы вспомогательного инструмента: с цилиндрическим хвостовиком и базирующей призмой (см. работы [4, 7]).

В связи со значительными трудностями смены державок с инструментом, установленным в револьверной головке токарного станка, в настоящее время применяют державки с быстросменными резцовыми головками (рис. 3.27).

При таком конструктивном исполнении, когда сами державки остаются в револьверной головке, а меняются только базируемые в них резцовые головки (при износе инструмента или при переходе на обработку других заготовок), упрощаются смена и настройка инструментов в револьверной головке, а также становится возможной замена резцовых головок автоматически с помощью автооператора или промышленного робота.

При автоматическом цикле обработки заготовок на станках с ЧПУ и автоматической смене режущих инструментов точность изготовления деталей в значительной степени зависит от точности предварительной размерной настройки режущих инструментов, точности их исходного положения по отношению к заготовкам. Размерная настройка режущих инструментов может выполняться двумя способами: вне станка на специальных приборах и непосредственно на станке перед началом обработки с применением измерительных щупов.

Приборы для настройки режущих инструментов при их установке и закреплении в оправках и на державках подразделяют на две

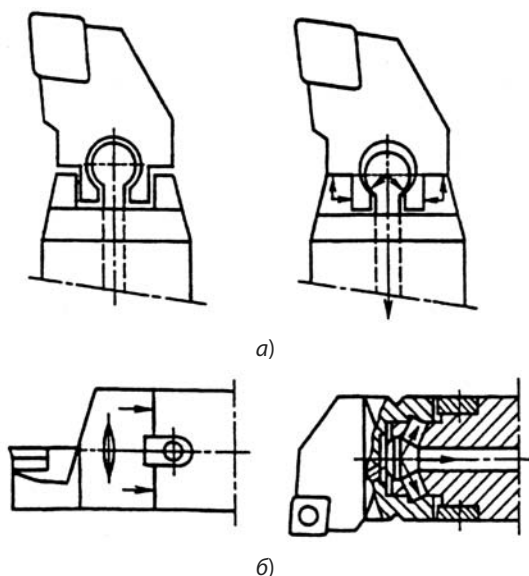


Рис. 3.27. Схемы закрепления быстросменных резцовых головок: а — фирмы *Sandvik Coromant* (Швеция); б — фирмы *Krupp Widia* (Германия)

группы: контактные и бесконтактные. Первые оснащают индикаторами, вторые — оптическими средствами измерения (микроскопами, проекторами, компараторами).

Второй способ — настройка непосредственно на станке путем касания режущим инструментом специальных измерительных шупов, установленных на столе станка, на специальном выдвижном кронштейне, на шпиндельной бабке и др., и сообщения в систему ЧПУ действительного положения режущей кромки инструмента.

3.5.2. Магазины для накопления и транспортировки инструментов

Инструментальный магазин предназначен для создания запаса режущих инструментов, необходимого для изготовления на данном станке заданной номенклатуры деталей.

При автоматической смене инструментов применяют инструментальные магазины различных типов и конструкций, устанавливаемые в большинстве случаев непосредственно на станке.

На токарных станках с ЧПУ в качестве таких магазинов используют револьверные головки, а на многоцелевых станках применяют дисковые, барабанные и цепные инструментальные магазины вместимостью 10—180 инструментов. При малом числе инструментов (до

12 шт.) на этих станках могут иногда применяться револьверные головки.

К инструментальным магазинам предъявляются следующие основные требования:

- вместимость магазина должна быть достаточной для изготовления на станке заданной номенклатуры деталей;
- магазин должен быть по возможности простым и компактным; большая вместимость магазина усложняет его конструкцию, делает его дороже, увеличивает его габаритные размеры и массу;
- магазин желательно располагать вне рабочей зоны станка, чтобы он сам и выступающие из него инструменты не мешали установке и снятию заготовки, перемещениям рабочих органов станка в процессе обработки заготовки; магазин и находящиеся в нем инструменты необходимо предохранять от попадания стружки и грязи;
- следует обеспечить удобный и безопасный доступ к магазину оператора и наладчика для загрузки и замены инструментов, что особенно важно при использовании крупногабаритных и тяжелых инструментов;
- поворот магазина в нужную позицию должен проводиться с максимально возможной скоростью и совмещаться с выполнением предыдущего перехода обработки;
- конструкция и работа магазина не должны оказывать отрицательного влияния на параметры станка (жесткость, виброустойчивость, точность и др.).

Накопление и транспортирование инструментов револьверными головками. Револьверные головки применяют с вертикальной, горизонтальной и наклонной осями вращения. Смена инструмента осуществляется поворотом головки на нужное число позиций и последующей фиксацией головки. Время смены инструмента в этом случае составляет 1—4 секунды.

Револьверная головка, в отличие от других инструментальных магазинов, является непосредственным рабочим органом станка, воспринимающим силы резания. Поэтому она должна характеризоваться высокой прочностью, жесткостью и точностью позиционирования при повороте. Режущие инструменты для обработки внутренних и наружных поверхностей не должны мешать друг другу. Замена инструментов в головке должна осуществляться удобно и легко, к инструменту должен быть свободный доступ.

На рис. 3.28 показаны конструкции револьверных головок, применяемых на токарных станках с ЧПУ.

Многие заготовки, обрабатываемые на токарных станках с ЧПУ, помимо точения, требуют других видов обработки: сверления соосных и несоосных продольных и поперечных отверстий; нарезания

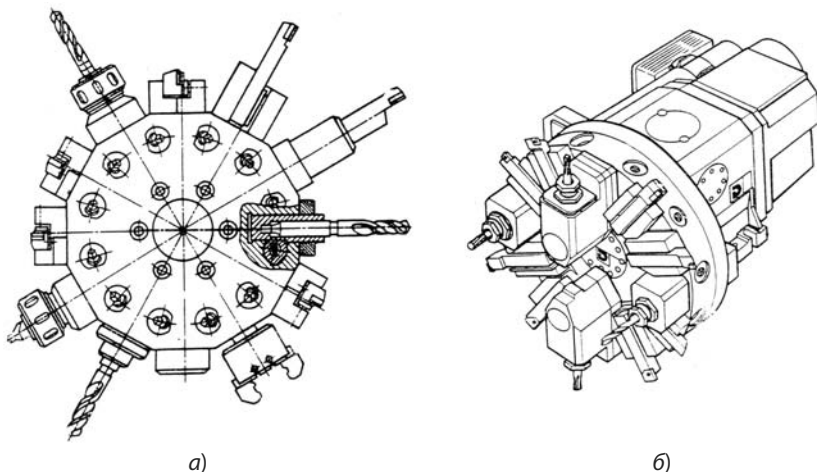


Рис. 3.28. Конструкции револьверных головок:
 а — звездообразная; б — барабанная фирмы *Duplomatic* (Италия)

резьбы метчиками; фрезерования боковых поверхностей и канавок и др.

В этом случае шпиндель станка, кроме вращения, имеет управляемый поворот по координате C , а в конструкции револьверных головок предусматривают возможность установки помимо неподвижных также и вращающихся инструментов (сверл, метчиков, фрез и др.). Для привода вращения этих инструментов используют отдельный регулируемый электродвигатель, установленный непосредственно на револьверной головке. В качестве примера на рис. 3.29 показаны две конструктивные схемы таких головок.

В *первой* конструкции (рис. 3.29, а) вращение от электродвигателя 1 передается на центральный вал 2 с центральной конической шестерней 6 и далее на все позиции револьверной головки 4 с вращающимися инструментами 3, подключаемыми к вращению муфтами 5.

Во *второй* конструкции (рис. 3.25, б) вращение от электродвигателя 1 передается через вал 2 и муфту 3 только на одну позицию револьверной головки 5, где установлен вращающийся инструмент 4.

В настоящее время разработан унифицированный ряд револьверных головок для токарных станков с ЧПУ, выпускаемых специализированными фирмами, например фирмами *Sauter* (Германия), *Baruffaldi* и *Duplomatic* (Италия) и др. Так, фирма *Sauter* выпускает шесть типоразмеров револьверных головок с посадочным диаметром для самой головки от 108 до 370 мм, массой головок от 36 до 460 кг.

На некоторых специализированных фрезерных станках с ЧПУ при использовании для обработки заготовок небольшого количества

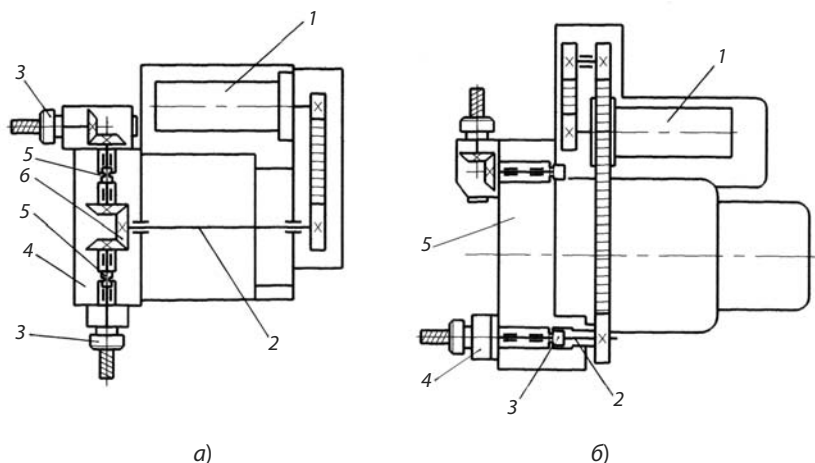


Рис. 3.29. Примеры конструктивных схем вращения инструментов в револьверных головках:
а — через конические зубчатые передачи и соединительные муфты; *б* — через ременную передачу

инструментов также применяют 5-и 6-позиционные револьверные головки, что сокращает время смены инструмента. Недостатками таких револьверных головок являются: их малая вместимость; необходимость в каждой позиции револьверной головки иметь шпindel, что усложняет и удорожает ее конструкцию; снижение жесткости шпindelной бабки и точности установки инструмента при повороте и фиксации головки.

Условия обработки улучшаются, а конструкция упрощается при применении конусной револьверной головки *1* с наклонной осью ее вращения (рис. 3.30, *а*). В этом случае имеется только один шпindel *3*, который в рабочей позиции соединяется поочередно с оправками *4*, установленными в позициях головки. Движение подачи режущего инструмента осуществляется путем перемещения шпindelной бабки *2* с револьверной головкой. Однако в этом случае величина перемещения l_1 ограничена.

Фирма *Olivetti* (Италия) также использует в качестве магазина револьверную головку *1* с наклонной осью ее вращения (рис. 3.30, *б*), но в этом случае уже нет ограничений на величину рабочего хода инструмента l_1 , так как происходит движение подачи не шпindelной бабки *2*, а только пиноли шпинделя *3*. Опускаясь вниз, пиноль захватывает оправку с инструментом и подает его на требуемое расстояние при неподвижной головке *1*.

Недостаток этой конструкции по сравнению с показанной на рис. 3.30, *а* — меньшая жесткость шпинделя при большом вылете

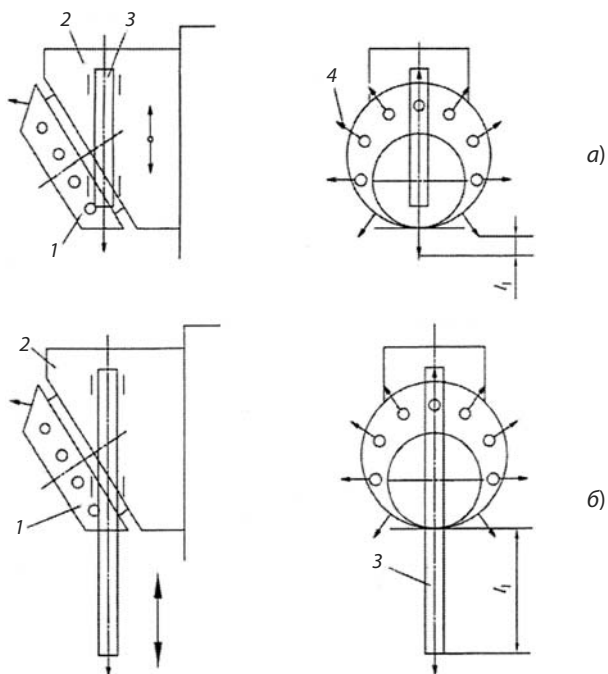


Рис. 3.30. Схемы револьверных головок, применяемых на фрезерных и многоцелевых станках:

- а* — конусная револьверная головка с подачей вместе со шпиндельной бабкой;
б — двенадцатипозиционная револьверная головка с подачей только пиноли со шпинделем и оправкой с инструментом

пиноли (особенно при фрезеровании) с перемещением рабочих органов станка по координатам X и Y .

Двух-, трех- и четырехпозиционные револьверные головки применяют на шлифовальных станках с ЧПУ, когда в отдельных позициях устанавливают шлифовальные круги для наружного и внутреннего шлифования.

Накопление и транспортирование инструментов в магазинах. Варианты исполнения инструментальных магазинов, применяемых на различных станках с ЧПУ, показаны на рис. 3.31.

Барabanные инструментальные магазины (рис. 3.31, *а*, *б*), имея вместимость 12–40 инструментов, что достаточно для изготовления многих деталей, находят широкое применение на станках с ЧПУ. Они достаточно компактны, могут располагаться на колонне станка, что более предпочтительно, или непосредственно на шпиндельной бабке (в этом случае, хотя и сокращается время смены инструмента,

значительно увеличивается масса перемещаемой шпиндельной бабки).

Первый вариант исполнения магазина (см. рис. 3.31, а) применяют чаще с установкой его сбоку на колонне (с любой стороны) на станках с ЧПУ как с вертикальной, так и с горизонтальной компоновкой шпинделя.

Второй вариант магазина (рис. 3.27, б) применяется в основном на станках с ЧПУ с горизонтальной компоновкой шпинделя и устанавливается на верхней части колонны станка. Установка такого магазина сбоку на колонне значительно увеличивает габаритные размеры станка, но она удобнее с точки зрения смены комплекта оправок с инструментом.

Дисковые магазины (рис. 3.31, в) применяют реже из-за больших радиальных размеров при большом числе инструментов.

Конусные барабанные магазины (рис. 3.31, з, д) также находят применение на станках с ЧПУ. При варианте компоновки магазина, показанном на рис. 3.31, з, удобна смена инструмента на основе использования двухпозиционной револьверной головки. Вариант компоновки магазина, показанный на рис. 3.31, д, удобен для смены инструмента на станках с ЧПУ с горизонтальной ком-

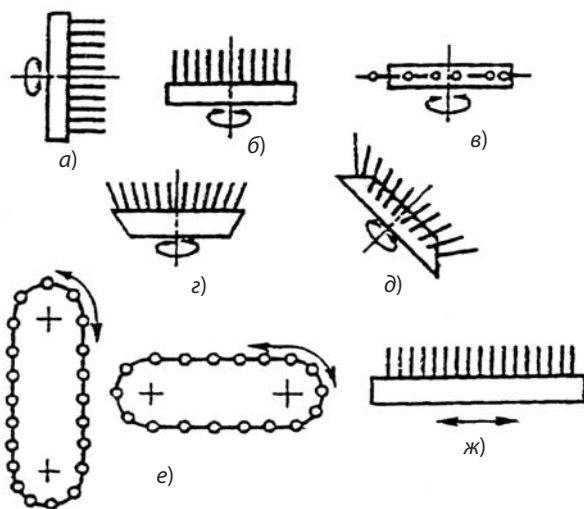


Рис. 3.31. Варианты исполнения инструментальных магазинов:
а и б — соответственно с горизонтальной и вертикальной осью вращения;
в — звездообразного типа с вертикальной осью вращения; з и д — конусообразные
соответственно с вертикальной и наклонной осью вращения; е — цепные;
ж — линейные

поновкой шпинделя (в этом случае упрощается конструкция автооператора).

Цепные инструментальные магазины (рис. 3.31, *е*) применяют на станках с ЧПУ при большом числе накапливаемых инструментов (до 180 шт.). Линейные магазины (рис. 3.31, *ж*) используют реже.

Наличие на станке магазина большой вместимости, хотя и значительно расширяет его технологические возможности, может приводить к редкому использованию отдельных инструментов. С другой стороны, замена большого комплекта оправок с инструментом в таком станке приводит к длительным простоям станка.

На ряде многоцелевых станков в целях изготовления больших партий деталей небольшой номенклатуры для повышения производительности обработки применяют сменные многошпиндельные головки, которые также устанавливают в магазины для последующей автоматической смены (рис. 3.32).

При небольшом числе многошпиндельных головок в качестве магазинов применяют revolverные головки, в каждой позиции которых установлены соответствующие многошпиндельные головки (рис. 3.32, *а*). При большом числе многошпиндельных головок их устанавливают в поворотных магазинах 1 и 2, откуда они переставляются в рабочую позицию 3 (рис. 3.32, *б*).

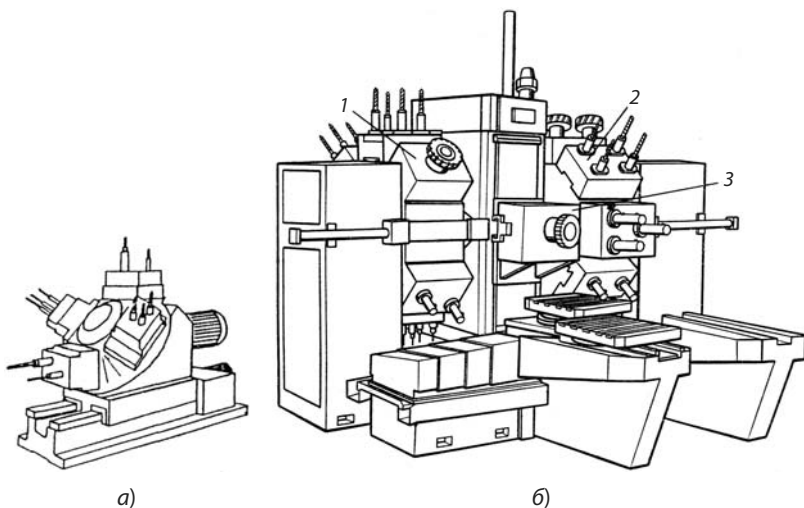


Рис. 3.32. Магазины для хранения и смены многошпиндельных головок: *а* — поворотная головка; *б* — с двумя восьмипозиционными поворотными магазинами головок

3.5.3. Механизмы автоматической смены инструментов

Автоматическая смена инструмента на станках с ЧПУ может обобщенно производиться следующими способами:

- изменением положения (поворотом) инструментального магазина (револьверной головки);
- путем передачи инструмента из магазина в шпиндель станка через промежуточный накопитель (поворотную головку с двумя и более позициями);
- путем непосредственной смены инструмента из магазина в шпиндель станка;
- путем передачи инструмента из магазина в шпиндель станка автооператором (рис. 3.33).

Первый — наиболее простой способ автоматической смены инструментов, когда они устанавливаются в револьверных головках. Смена инструмента производится простым поворотом револьверной головки в обе стороны на нужное число позиций с затратой минимального времени.

Минимальное время смены инструмента (1–2 секунды) при более сложной конструкции достигается при *втором* способе, когда применяется двухпозиционная поворотная головка в комплекте с инструментальным магазином. В этом случае время смены инструмента, вызывающей простой станка, равно времени расфиксации, поворота на 180° и фиксации двухпозиционной головки. Выбор инструмента в магазине, установка его на свободную позицию головки происходят во время предыдущей обработки заготовки.

В некоторых станках с ЧПУ применяют *третий* способ смены инструмента, которая осуществляется за счет определенного цикла перемещения шпиндельной бабки относительно инструментального магазина.

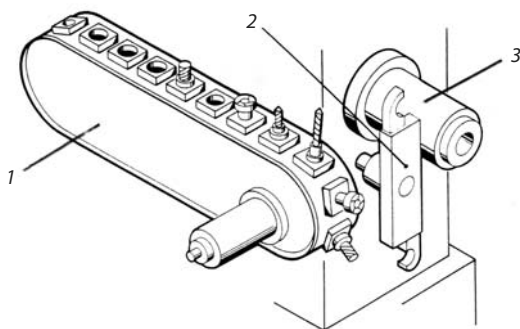


Рис. 3.33. Схема смены инструмента из магазина автооператором:
1 — инструментальный магазин;
2 — автооператор;
3 — шпиндель станка

Наиболее широко в многоцелевых станках применим *четвертый* способ смены инструмента с автооператором, который, хотя и сложнее, значительно сокращает время смены инструмента благодаря его предварительному выбору из магазина во время предыдущей обработки заготовки (см. рис. 3.33). При данном способе смены инструмента конструкцию и компоновку механизмов выполняют по-разному в зависимости от места расположения инструментального магазина на станке.

Для захвата автооператором оправок с инструментами применяют захватные устройства различных типов (например, клещевого типа и типа охватывающей скобы с фиксирующим устройством).

При автоматической смене инструментов важной задачей является поиск нужного инструмента в магазине. Это может обеспечиваться следующими способами:

- кодированием посадочных мест магазина; оправки с инструментом в этом случае устанавливаются в одни и те же места, но могут использоваться многократно в любой последовательности;
- кодированием самих оправок с инструментами; инструменты в этом случае могут устанавливаться в любой последовательности и в любое место на магазине.

Первоначально в большинстве многоцелевых станков кодирование оправок с инструментами проводилось установкой на хвостовике набора кодовых колец. При повороте магазина хвостовики перемещаются относительно ошупывающего устройства. Когда находится нужный инструмент, магазин останавливается и происходит смена инструмента. Недостатки данного способа: усложнение конструкции хвостовика и увеличение его длины и массы; относительная трудоемкость установки колец. В настоящее время применяется электронная система кодирования резцедержавок и оправок.

3.6. УСТРОЙСТВА АВТОМАТИЧЕСКОЙ СМЕНЫ ОБРАБАТЫВАЕМЫХ ЗАГОТОВОК

Дальнейшее повышение степени автоматизации станков с ЧПУ позволило освободить оператора от функции загрузки обрабатываемой заготовки и съема готовой детали (на токарных станках с ЧПУ) или производить установку заготовки на многоцелевых станках во время обработки предыдущей заготовки. Это позволяет сократить простои станка.

Первоначально эту задачу решали на основе применения промышленных роботов (рис. 3.34). Однако это получило применение в основном на токарных станках с ЧПУ, где имеется относительно определенная форма заготовки (вал), удобная для захвата роботом.

При обработке заготовок типа плит и корпусных деталей возникают большие проблемы с конструкцией захватов роботов. Токарные станки с ЧПУ с промышленными роботами получили название *роботизированные технологические комплексы (РТК)*.

Для данных РТК относительно удобно производится предварительный ориентированный набор обрабатываемых заготовок. Заготовки-валы укладываются заранее в специальные кассеты-магазины. Заготовки-фланцы (втулки, диски) укладываются заранее в определенном порядке в магазине или на конвейере, который, как и кассеты-магазины, устанавливается около токарного станка с ЧПУ (рис. 3.34, б).

Промышленный робот снимает из патрона изготовленную деталь и устанавливает новую заготовку. Разжим и зажим патрона производится автоматически.

В РТК оператор освобождается от монотонной и физически утомительной работы — разгрузки детали и загрузки заготовки. В этом случае токарный станок с ЧПУ — уже автомат. Простой станка значительно сокращаются, что повышает его производительность. Однако необходимо отметить и отрицательные стороны такой автома-

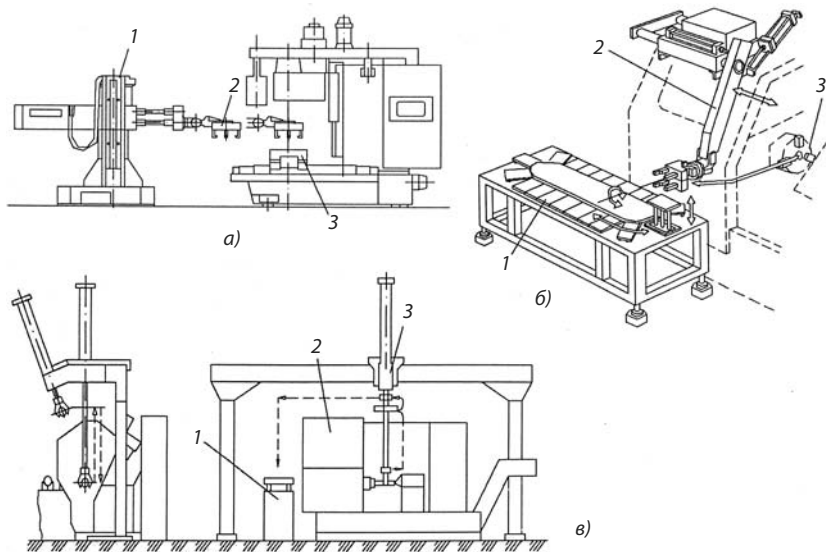


Рис. 3.34. Схемы автоматизации загрузки-разгрузки заготовок и деталей на станках с ЧПУ:

- а — с напольным роботом для фрезерного станка (1 — робот, 2 — захват с заготовкой, 3 — стол станка);
- б — с приставным роботом на токарном станке с ЧПУ (1 — конвейер с заготовками и обработанными деталями, 2 — робот, 3 — патрон токарного станка);
- в — с порталным роботом на токарном станке с ЧПУ (1 — кассета-магазин с заготовками и обработанными деталями, 2 — станок, 3 — робот с двумя захватами)

тизации. У каждого токарного станка с ЧПУ находится промышленный робот — достаточно сложное и дорогое устройство. В цикле обработки заготовки робот работает очень короткое время (разгрузка-загрузка), остальное время он простаивает. При применении робота увеличивается занимаемая производственная площадь (особенно при применении напольных роботов) (рис. 3.34, а). Зона работы такого РТК должна быть огорожена по требованиям техники безопасности.

Иногда применяют напольный промышленный робот для автоматизации работы двух или трех станков (например, токарный и фрезерный станки с ЧПУ и моечная машина). Это позволяет увеличить время непосредственной работы промышленного робота.

Необходимо также отметить, что применение РТК освободило оператора, но потребовало присутствия другого рабочего — оператора, который периодически укладывает заготовки в кассеты-магазины и на конвейер и убирает готовые детали, а также контролирует работу не только станка с ЧПУ, но и робота.

Промышленный робот при установке заготовки в патрон станка может поставить ее неточно, поэтому необходимо предусматривать контроль правильности зажима патроном заготовки. Он также не видит возможного наличия стружки на губках патрона, что может привести к такому же результату.

При обработке заготовок плоских и корпусных деталей на многоцелевых станках применяется другая система автоматизации их загрузки и съема готовых деталей. В этом случае на станке делается съемный стол — паллета, на которой закрепляется в приспособлении заготовка. Паллеты нормализованы, имеют разные размеры для разных многоцелевых станков (320 × 320, 320 × 400, 500 × 500 мм и др.). Паллеты могут иметь разные крепежные элементы на своей поверхности для крепления приспособлений. На станке используются две паллеты: на одной установлена обрабатываемая заготовка, и она находится на столе станка в рабочей зоне. В это время оператор снимает со второй паллеты, находящейся вне рабочей зоны станка, изготовленную деталь и устанавливает новую заготовку. Затем эта паллета с заготовкой автоматически устанавливается на стол станка в рабочую зону, а паллета с изготовленной деталью удаляется в зону разгрузки.

На рис. 3.35 показаны разные наиболее широко применяемые варианты смены паллет на многоцелевых станках.

Хотя съем и загрузка паллет на стол многоцелевого станка производятся автоматически, здесь в отличие от ранее рассмотренных РТК оператор должен присутствовать около станка. Ему необходимо производить съем готовой детали с паллеты и установку новой заготовки на паллету. Делает он это во время работы станка, сокращая его простои, которые имели бы место при непосредственной загрузке-раз-

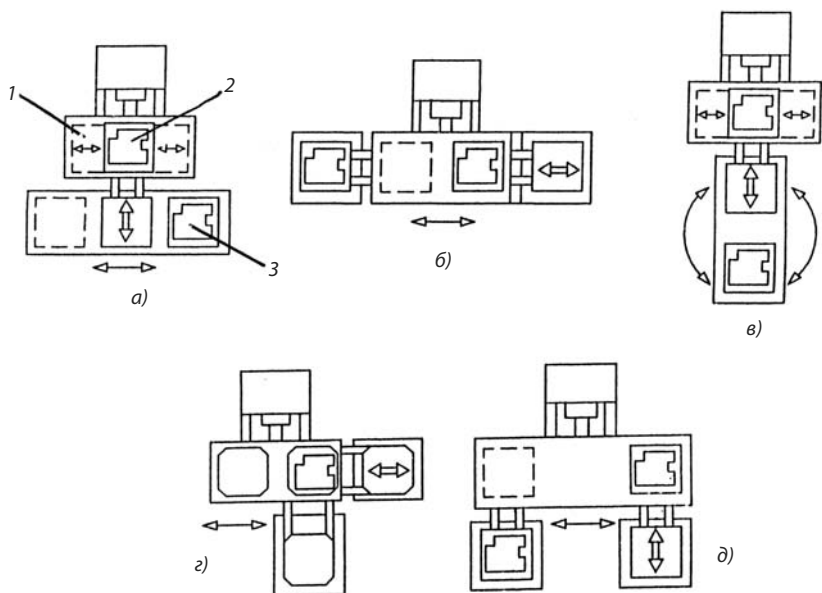


Рис. 3.35. Схемы последовательности автоматической смены паллет на многоцелевых станках:

а и *б* — при челночном перемещении паллет; *в* — с поворотным столом; *г* и *д* — с двумя стационарными загрузочно-разгрузочными позициями, расположенными соответственно с разных и с одной стороны станка

грузке заготовок на рабочий стол станка. Оператор может отсутствовать, когда на станке применяются магазины с паллетами (см. далее рис. 4.5).

Применяется другой вариант, когда установка заготовки на паллету и съем с паллеты готовой детали производится в другом месте. В этом случае паллеты доставляются на станок и возвращаются от станка в зону разгрузки специальными автоматизированными транспортными тележками — робокарами.

Одной из проблем для данного способа автоматизации загрузки-разгрузки заготовок является необходимость иметь другую конструкцию стола многоцелевого станка для точной установки и зажима на нем паллеты. При этом необходимо иметь при одном варианте две, а при другом — несколько абсолютно одинаковых взаимозаменяемых паллет для их точной установки и зажима на одном и том же столе одного или нескольких станков.

Применяются также магазины (круглые, овальные, прямолинейные) для паллет с заготовками, устанавливаемые около станка с ЧПУ.

3.7. УСТРОЙСТВА ДЛЯ СБОРА И ТРАНСПОРТИРОВКИ СТРУЖКИ

Автоматизированный сбор и удаление стружки на станках с ЧПУ являются очень важной задачей.

Эффективный отвод стружки от станка с ЧПУ позволяет:

- предотвратить концентрацию теплоты в местах контакта стружки с узлами станка и снизить их температурные деформации;
- повысить время непосредственной работы станка за счет сокращения простоев для уборки стружки;
- улучшить использование СОЖ, так как стружка в этом случае будет находиться в контакте с ней в течение непродолжительного времени;
- улучшить условия труда оператора и уменьшить опасность несчастного случая из-за контакта со стружкой.

Трудность решения этой задачи часто связана с недостаточным рабочим пространством станка и большим объемом отводимой стружки; большим количеством подвижных узлов станка с заготовкой и инструментом; разнообразием форм и материалов стружки. Поэтому компоновка и конструкция станков должны способствовать свободному перемещению стружки по направляющим поверхностям или желобам на транспортное устройство ее отвода.

Удаление стружки с инструмента, с обрабатываемой заготовки, с зажимного приспособления и других узлов станка производят двумя способами: принудительно (смыв обильной струей жидкости, выдувание, вакуумный отсос и т.д.) и под действием силы тяжести стружки.

Для облегчения отвода стружки из зоны резания в современных станках с ЧПУ предусматривают свободное пространство под зоной резания и обрабатываемой заготовкой. В токарных станках с ЧПУ свободному сходу стружки способствует наклонное положение направляющих суппортов (рис. 3.36). В станках с ЧПУ небольших размеров (для изготовления корпусных деталей) рабочую поверхность стола выполняют вертикально.

Удаление стружки от станков в общем случае выполняют встроенные в них конвейеры различных конструкций в зависимости от обрабатываемых материалов, формы и объемов удаляемой стружки. При проектировании и применении таких конвейеров необходимо соблюдать следующие требования: легкость очистки и ремонта, простота конструкции, достаточная пропускная способность и минимальные затраты энергии.

На практике применяются устройства для транспортирования стружки разного принципа действия: пластинчатые, скребково-толкающего типа, вибрационные, шнековые, магнитные и гидроконвейеры.

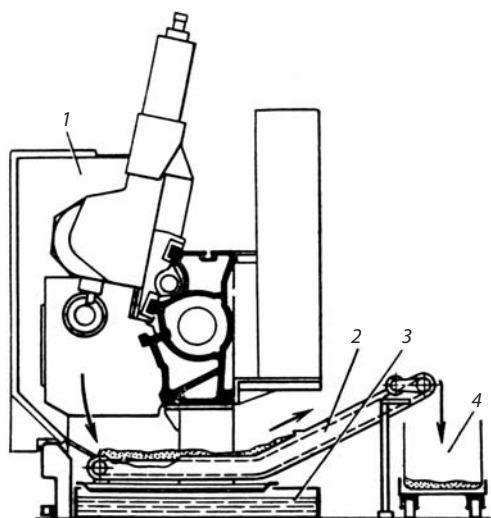


Рис. 3.36. Схема удаления стружки на токарном станке с ЧПУ:

- 1 — защитный кожух;
- 2 — конвейер для удаления стружки; 3 — бак для СОЖ;
- 4 — бак для сбора и хранения стружки

Для удаления легкой (например, алюминиевой) стружки, а также стружки из мелкой чугуновой крошки и пыли (при обработке без СОЖ) применяют стружкоотсасывающие устройства (гидроциклоны). Однако их можно применять при небольшой зоне стружкообразования (например, при сверлении печатных плат).

При обработке отверстий стружку выдувают из них сжатым воздухом или вытряхивают специальным поворотным устройством. Применяют также электромагнитный способ удаления стружки, при котором устройство с электромагнитом хранится в инструментальном магазине и периодически устанавливается в шпинделе станка, который по программе обходит места образования стружки и транспортирует ее в приемное устройство.

При создании гибких производственных систем (см. раздел 4) в их состав включают моечную машину, в которой обработанная деталь очищается от стружки и других элементов. В частности, это производится перед измерением изготовленных деталей.

3.8. СИСТЕМЫ СМАЗЫВАНИЯ ДЕТАЛЕЙ И УЗЛОВ СТАНКОВ С ЧПУ

Система смазывания предназначена для подачи, дозирования и распределения смазочного материала в узлах станка, а также контроля и управления процессом смазывания. От эффективности действия этой системы зависят такие важнейшие показатели качества

работы станков, как точность, долговечность, экономичность, бесшумность.

Смазыванию подлежат подшипники, направляющие, зубчатые и червячные передачи, муфты, шарнирные соединения и другие узлы.

Основные функции смазочного материала заключаются:

- в обеспечении низкого трения;
- отводе теплоты от трущихся поверхностей, в том числе вследствие большей теплоемкости масла, чем металлов;
- удалении продуктов износа из зоны трения и предотвращении попадания инородных частиц в зазор между поверхностями трения;
- защите деталей от коррозии (минеральные масла).

По физическому состоянию смазочные материалы можно разделить на жидкие (основные), пластичные и твердые. В качестве *жидкого* смазочного материала в большинстве случаев применяют масла на минеральной основе. Их используют для смазывания, охлаждения, переноса теплоты, в качестве рабочих жидкостей для гидравлических систем и др.

Пластичные смазочные материалы имеют в своем составе 75–95% минеральных масел, 5–20% загустителя, образующего «каркас», в котором удерживается минеральное масло, и 0–5% присадок.

Пластичные смазочные материалы в станках используют в основном для смазывания подшипников, тихоходных зубчатых передач, где имеется плохая герметизация.

В качестве пластичных смазочных материалов применяют:

- солидол синтетический — наиболее массовый сорт антифрикционных смазочных материалов. Его недостаток — низкая механическая стабильность (сопротивляемость вытеканию из зоны смазывания). Синтетический солидол плохо совместим с другими смазочными материалами;
- графитую мазь, которая применяется в тихоходных механизмах, открытых передачах;
- многоцелевые смазочные материалы, среди которых широкое распространение получила мазь Литол-24, используемая в узлах трения всех типов;
- термостойкий кальциевый смазочный материал Циатим-221. Однако эта мазь при трении скольжения имеет плохие противозносные свойства, поэтому рекомендуется только для подшипников качения (в шпинделях);
- тугоплавкий смазочный материал Циатим-203, который применяется в нагруженных узлах трения;
- смазочный материал Циатим-202 для смазывания электромеханических приборов, а также подшипников скоростных шпинделей, небольших зубчатых передач. Для подшипников скоро-

стных шпинделей применяют также смазочные материалы Циатим-221 и ВНИИНП-223.

В тех случаях, когда обычные смазочные материалы применять нежелательно (в вакууме, при больших нагрузках и низких скоростях), применяют *твердые* смазочные материалы, характеризующиеся высокой теплостойкостью. Отличительной особенностью твердых смазочных материалов является отсутствие способности самовосстановления при разрушении смазочной пленки.

Твердые смазочные материалы (графит, дисульфит молибдена и др.) характеризуются широким диапазоном рабочей температуры, высокой нагрузочной способностью, большой долговечностью, они не нуждаются в системах подачи смазочного материала и уплотнениях. Недостаток смазывания этими материалами — отсутствие отвода теплоты смазочным материалом и более высокое трение поверхностей, чем при применении жидких масел.

Многие свойства современных масел достигаются введением в них химических веществ (присадок), без которых масла не могли бы удовлетворять современным требованиям (противозадирные свойства, вязкостно-температурные характеристики и т.п.).

В зависимости от условий работы рекомендуется применять следующие смазочные материалы:

- при высоких нагрузках и низких скоростях — вязкие масла (пластичные, твердые);
- при высоких скоростях — высококачественные масла с низкой вязкостью;
- при высоких температурах — жидкие масла с присадками, твердые смазочные материалы;
- во избежание загрязнений и образования шлама — высококачественные масла, пластичные и твердые смазочные материалы.

Системы для смазывания представляют собой совокупность устройств, обеспечивающих своевременную подачу, распределение и подвод требуемого количества смазочного материала к поверхностям трения, а также возврат его в смазочный бак. Системы должны обеспечить также хранение и очистку смазочного материала, контроль его поступления, предотвращение аварии оборудования при прекращении подачи смазочного материала, управление режимом смазывания.

Основные требования, предъявляемые к системам смазывания станков, определяют их назначением:

- обеспечение подачи смазочного материала к большому числу трущихся пар от одной системы (централизованные системы);
- применение автоматически действующих устройств для подачи и распределения смазочного материала, осуществление цикла смазывания, контроля за его подачей, защиты и сигнализации о неисправностях;

- возможность регулирования количества (дозы) смазочного материала, подаваемого к точкам смазывания, поскольку недостаточное или обильное смазывание может ухудшать условия работы пар трения;
- повышение надежности работы отдельных элементов системы (насосов, масленок, фильтров, маслопроводов и др.);
- применение устройств эффективной очистки смазочного материала;
- удобство и экономичность эксплуатации.

Подача смазочных масел и материалов к трущимся поверхностям осуществляется различными способами: самотеком — под действием сил тяжести (непрерывное смазывание); фитилями и пористыми втулками (фитильное смазывание) и использованием силы капиллярного давления; погружением вращающихся деталей в масляную ванну (смазывание погружением); принудительно (смазывание под давлением, создаваемым насосами, пружинами и мускульной силой); разбрызгиванием и распылением (например, масляным туманом, создаваемым сжатым воздухом).

По условиям подачи и использования смазочного материала системы смазывания делят на проточные и циркуляционные. В *проточных* системах смазочный материал подается к трущимся поверхностям дозами (одноразовое проточное смазывание). Он используется в работе один раз и в резервуар системы не возвращается. В *циркуляционных* системах применяют только жидкие смазочные материалы, циркулирующие многократно между объектами смазывания и резервуаром. Смазочный материал, поступающий в резервуар для повторной подачи, подвергается тщательной очистке.

Контроль подачи смазочного материала осуществляется визуально, обычно с помощью маслоуказателей (глазков), или автоматически, с помощью реле контроля подачи, реле давления, реле уровня и других приборов.

В зависимости от характера поступления смазочного материала к местам смазывания различают системы непрерывного и периодического смазывания.

Смазывание всех точек может осуществляться одновременно или последовательно. Во втором случае смазочный материал подается только периодически. К системам *непрерывного смазывания* относят системы дроссельного регулирования и системы аэрозольного смазывания (или смазывания масляным туманом). В системах *периодического смазывания* регулирование подачи смазочного материала может осуществляться любым способом.

В современных станках все шире применяются централизованные смазывающие системы для дозирования подачи в заданных количе-

ствах смазочных материалов (пластичных и жидких) к двум и более точкам трущихся пар узлов и механизмов.

Широко применяются системы непрерывной подачи смазочного материала самотеком либо под давлением. Смазочный материал подается к трущимся поверхностям капельными масленками, различными кольцами, разбрызгивателями, роликами и т.п. Непрерывная смазка под давлением нашла свое применение при смазке ответственных передач, крупных подшипников, а также гидростатических опор.

Для узлов, работающих периодически, с малыми зазорами, в труднодоступных местах, смазочный материал подают под давлением одноплунжерными насосами с ручным или периодически действующим механическим приводом.

В последние годы широко используется метод смазывания трущихся поверхностей аэрозолями — масляным туманом, при котором распыленное на мельчайшие частицы в струе сжатого газа масло переносится к трущимся парам и, осаждаясь на них, смазывает подвижные части.

Для смазки подшипников шпинделей наряду с известными способами (разбрызгиванием, циркуляционной и капельной смазкой, масляным туманом) применяют новый способ — масловоздушную смазку.

Поступающее из дозирующего устройства масло распределяется в непрерывном воздушном потоке по стенкам трубопровода и «ползет» вдоль него. В конце через дюзы масло поступает в подшипники шпинделя. В опоре шпинделя при описанной системе смазки образуется избыточное давление, защищающее опору от проникновения пыли, грязи и т.п. Вытекающее из подшипников масло сливается через отверстие достаточно большого диаметра. Подвод масловоздушной смазки к каждому подшипнику производится от отдельного дозатора и через отдельный трубопровод. Дозирующие устройства должны быть регулируемы и подавать в систему точно установленный объем масла. Трубопроводы должны быть достаточно длинными (минимум 0,5 м), с тем чтобы масло имело время распределиться по стенкам трубопровода и непрерывно в очень малом объеме вытекало из дюзы в подшипник. Подача воздуха должна быть такой же, как для смазки масляным туманом.

Очистка масел необходима для устранения как возможного начального загрязнения системы, так и механических примесей, образующихся в процессе работы в результате износа деталей, коррозии и попадания частиц извне. Очистка производится в отстойниках, фильтрами, магнитными уловителями и центрифугами.

Для очистки от крупных частиц, как правило, достаточно отстаивания масла в течение восьми часов в резервуаре (корпусе, баке, картере) в покое или при медленной циркуляции.

Для отделения мелких и легких частиц применяют фильтры с щелями между пластинами или витками проволоки, металлические и тканевые сетки, бумагу, картон, войлок, фетр и другие волокнистые материалы.

3.9. СМАЗОЧНО-ОХЛАЖДАЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СРЕДЫ

Технологической средой при резании называют вещество, с которым контактируют поверхности режущего лезвия инструмента, стружки и обрабатываемой заготовки в районе зоны резания.

Смазочно-охлаждающие технологические среды (СОТС), применяемые при обработке резанием, подразделяются на жидкие, пластичные, газообразные и твердые. Жидкие СОТС принято называть СОЖ (смазывающе-охлаждающие жидкости).

Применение СОЖ позволяет снизить износ режущего инструмента, улучшить качество обрабатываемой поверхности и повысить производительность труда. СОЖ также удаляет стружку, снижает тепловыделение. В зависимости от процесса резания и материала обрабатываемых заготовок выбирают определенное соотношение между смазывающими и охлаждающими свойствами СОЖ. Снижение трения зависит от смазывающих свойств масла, а эффективность охлаждения — от количества воды, образующей с маслом эмульсию или раствор.

Наибольшее применение (около 95%) находят масляные СОЖ (на основе минеральных масел с добавлением присадок); эмульсоны (представляющие собой смеси минеральных масел, эмульгаторов, противозносных и противозадирных присадок и др.); синтетические СОЖ, получаемые на базе водорастворимых полимеров; полужидкие и пластичные композиции.

Большое разнообразие материалов инструмента и заготовки обуславливает различные требования к СОЖ. Например, низколегированную сталь, склонную к налипанию на резец, в отличие от твердой хромоникелевой стали, обрабатывают с СОЖ с низким содержанием присадок. Многие органические соединения азота, серы, хлора и фосфора входят в состав СОЖ в качестве компонентов и присадок. При обработке в тяжелых условиях (большие скорости, плохо обрабатываемый материал) следует добавлять присадки, растворимые в масле и содержащие хлор, фосфор и серу. Серу добавляют при тяжелых нагрузках и средних скоростях (непригодна при обработке меди, так как возникает почернение поверхности).

Типы СОЖ для обработки металлов резанием и рекомендации по их выбору приведены в литературе.

Система охлаждения станка в общем виде состоит из резервуара-отстойника, насоса (обычно центробежного), фильтров, трубопро-

вода, направляющих и отводящих устройств. Объем резервуара зависит от вида выполняемой операции и увеличивается при обильном тепловыделении при резании (например, обдирочном, силовом шлифовании), когда количество подаваемой в единицу времени жидкости возрастает.

Конструкция фильтров определяется требованиями к шероховатости обработанной поверхности, и при необходимости помимо отстойника, магнитного сепаратора и других устройств грубой очистки на станках хонинговальных, полировальных, отделочного шлифования применяют центробежные, бумажные и другие устройства тонкой очистки.

На станках, работающих с применением СОЖ, предусматривают защитные устройства, предотвращающие попадание жидкости в механизмы, а также разбрызгивание ее из рабочей зоны.

Подача СОЖ в зону обработки при лезвийной обработке может производиться следующими способами: свободно падающей струей; напорной струей через сопловые насадки; в распыленном состоянии (в виде струи воздушно-жидкостной смеси).

Последний способ особенно успешно применяют в станках с ЧПУ при обработке быстрорежущим и твердосплавным инструментом металлов и сплавов точением, фрезерованием, сверлением, резьбонарезанием, развертыванием, а также при обработке инструментами из сверхтвердых материалов.

Подачу СОЖ под давлением применяют с целью увеличения расхода СОЖ через зону обработки и вымывания стружки.

Условно различают подачу СОЖ струей под высоким давлением (не ниже 1,5 МПа) через сопла с выходными отверстиями диаметром до 0,8 мм и подачу СОЖ струей под низким давлением (0,05–0,7 МПа) через сопла с отверстиями диаметром 2–5 мм. При подаче СОЖ струей под высоким давлением требуется лучшая фильтрация и защита от разбрызгивания, чем при низком давлении. Эффективность применения СОЖ зависит от ее расхода.

Различные варианты подачи СОЖ показаны на рис. 3.37.

Очистка СОЖ повышает ее долговечность, увеличивает стойкость инструмента и улучшает качество обрабатываемой поверхности. По-

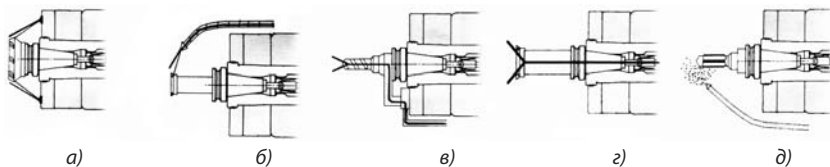


Рис. 3.37. Варианты подачи СОЖ в зону резания:

а — охлаждение по кольцу; б — подача направляющей трубой; в — подача через оправку; г — подача через шпиндель и оправку; д — подача в виде тумана

вышается также надежность и работоспособность насосных агрегатов и узлов станка. Применяют несколько способов очистки СОЖ: с помощью фильтров; гравитационный с использованием отстойников; центробежный с применением гидроциклонов, центрифуг; магнитный с использованием сепараторов, патронов и других устройств.

Простейшими очистителями являются гравитационные баки-отстойники. Для повышения эффективности очистки в отстойниках используют магнитные патроны. Широко применяют магнитные сепараторы. Загрязненная жидкость поступает в сепаратор, проходит между его корпусом и барабаном с магнитами, который вращается в направлении, обратном движению жидкости. Притянутые к барабану частицы снимаются с поверхности барабана скребком.

Для сепарации водных СОЖ применяют центробежные очистители (гидроциклоны), в которых разделение СОЖ и загрязнений происходит под действием центробежных сил.

РАЗДЕЛ 4

РАСШИРЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ СТАНКОВ С ЧПУ, ПОВЫШЕНИЕ ИХ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ, ТОЧНОСТИ И НАДЕЖНОСТИ РАБОТЫ

4.1. НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ВОЗМОЖНОСТИ СТАНКОВ С ЧПУ, ИХ ХАРАКТЕРИСТИКА

Большие функциональные возможности современных систем ЧПУ позволили разрабатывать станки с ЧПУ с широкими технологическими возможностями и высоким уровнем автоматизации их управления.

Первоначально были разработаны и широко применялись станки с ЧПУ разного назначения (токарные, фрезерные, сверлильные, расточные, шлифовальные и др.). Особенностью этих станков были, как правило, обычные, ранее имеющиеся технологические возможности. Затем по мере развития и совершенствования систем ЧПУ, применения для их построения программируемых (микропроцессорных) устройств ЧПУ стали разрабатываться ранее невыпускаемые многоцелевые станки, имеющие очень широкие технологические возможности и более высокий уровень автоматизации управления.

Токарные многоцелевые станки могут иметь одну, две и даже три револьверные головки с большим количеством разнообразных инструментов (резцов, сверл, зенкеров, фрез, метчиков и др.). В револьверных головках могут устанавливаться вращающиеся инструменты с самостоятельным приводом. Шпиндель станка, кроме обычного вращения, может иметь управляемый поворот по координате C . На ряде станков стали устанавливать еще дополнительно противощпиндель.

На рис. 4.1 показана последовательность обработки заготовки 5 при ее установке в патроне основного шпинделя 1 и в патроне противощпинделя 3, который имеет перемещения по координате R . Обработка производится инструментами, установленными на верхней 2 и нижней 4 револьверных головках, перемещающихся на суппортах по координатам X , Z , U и W .

Пример обработки заготовки 4 на токарном многоцелевом станке фирмы *Hommel* (Германия), имеющем три револьверные головки 1, 2 и 3 (первая не имеет перемещений, вторая и третья перемещаются по координатам X , Z , U и W), показан на рис. 4.2. Противощпиндель

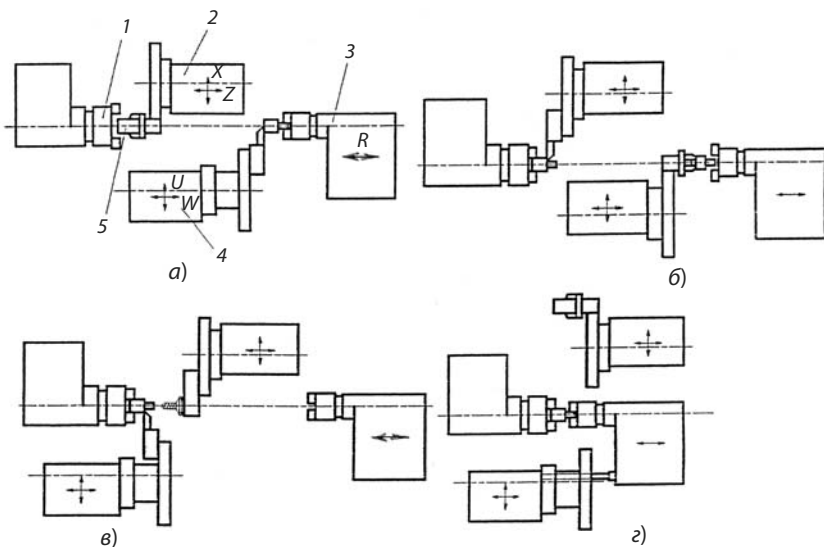


Рис. 4.1. Последовательность обработки заготовки на станке с двумя револьверными головками и протившпинделем:
а — установка заготовки в шпindelь станка; *б* — обтачивание заготовки с револьверной головки 2; *в* — подрезка с револьверной головки 4; *г* — перехват заготовки в протившпindelь 3

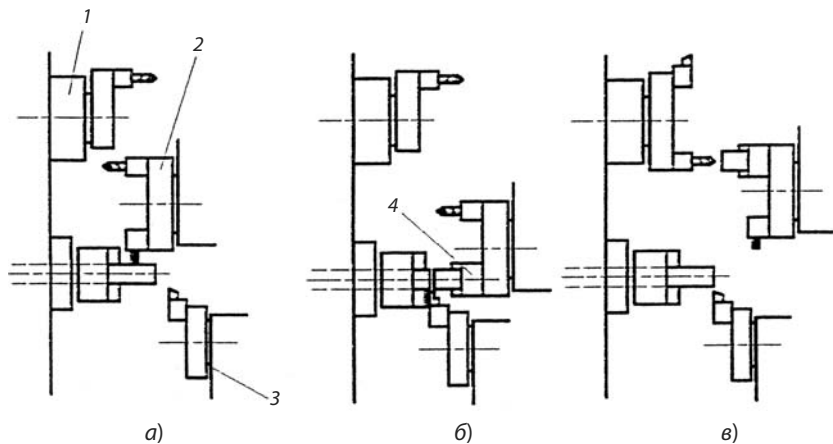


Рис. 4.2. Последовательность обработки заготовки на станке с тремя револьверными головками:
а — обтачивание заготовки с револьверной головки 2; *б* — зажим заготовки в револьверной головке 4 и ее отрезка с револьверной головки 3; *в* — обработка заготовки осевым инструментом с револьверной головки 1

здесь отсутствует. Обработка заготовки с другой стороны производится при ее зажиме в патроне на револьверной головке 2.

Ряд фирм для повышения производительности выпускают двухшпиндельные токарные станки с ЧПУ. При наличии управляемого поворота по координате C и независимых суппортов с револьверными головками на каждый шпиндель такие станки имеют также достаточно широкие технологические возможности.

Для обработки корпусных заготовок широко применяются многоцелевые станки с горизонтальной компоновкой шпинделя, с поворотным столом, с управлением по четырем координатам (X, Y, Z, B) и с автоматической сменой большого количества различных режущих инструментов. В этом случае станок имеет широкие технологические возможности для обработки заготовки с четырех боковых сторон.

В том случае, когда необходима обработка и с верхней (пятой) стороны заготовки, могут применяться станки с поворотной шпиндельной головкой (рис. 4.3). В этом случае шпиндель 1, расположенный в головке 2, может при повороте на 180° занимать горизонтальное и вертикальное положения. Расфиксация и последующая фиксация шпиндельной головки производится зубчатой муфтой 3.

Многоцелевые станки с вертикальной компоновкой шпинделя имеют, как правило, меньшие технологические возможности (управление по трем координатам X, Y, Z), чем предыдущие, и применяются для обработки плоских заготовок типа плит и фланцев. Здесь обработка производится в основном с одной стороны заготовки.

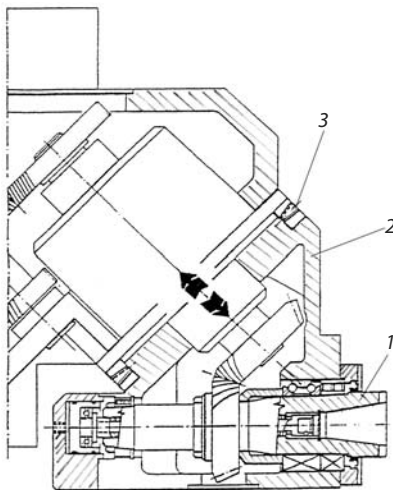


Рис. 4.3. Конструктивная схема поворотной шпиндельной головки

Расширение технологических возможностей станков с ЧПУ проводилось не только за счет большего количества выполняемых технологических переходов различными инструментами (рис. 4.4), но и за счет увеличения количества управляемых координат, и особенно количества одновременно управляемых координат (см. рис. 1.6, б и рис. 2.8). Такие станки необходимы в основном для обработки сложных объемных заготовок с криволинейным профилем (часто только одним инструментом — фрезой). На этих станках имеется пять, а в некоторых случаях — шесть управляемых координат — три или четыре прямолинейные (X, Y, Z, W) и две поворотные (C и $B(A)$).

Поворотные координаты может иметь шпиндельная бабка (см. рис. 2.8), или это реализуется при применении соответствующего стола. Иногда для получения двух поворотных координат на поворотный стол (координата B) ставят второй поворотный стол (координата C) (см. рис. 1.6, б). Необходимо отметить, что данные станки с ЧПУ очень сложные, имеют высокую стоимость.

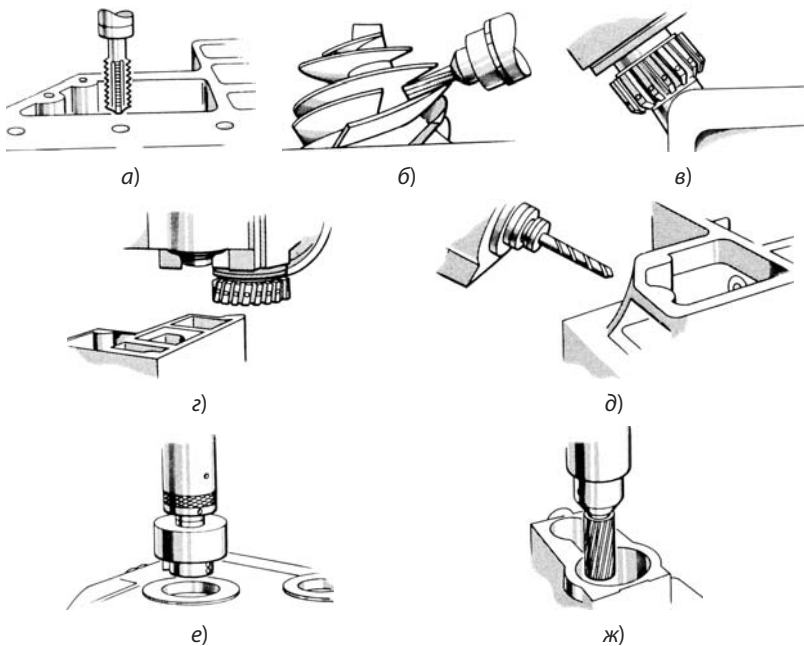


Рис. 4.4. Технологические переходы, выполняемые на многоцелевом станке: а — нарезание резьбы; б — контурное объемное фрезерование; в — фрезерование поверхности, расположенной под любым углом; г — фрезерование торцевой фрезой горизонтальной поверхности; д — сверление под любым углом; е — расточка; ж — фрезерование концевой фрезой

4.2. ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ СТАНКОВ С ЧПУ И ПУТИ ЕЕ ПОВЫШЕНИЯ

Производительность станка с ЧПУ характеризуется количеством годных деталей, изготавливаемых им в единицу времени. При непрерывной работе станка с ЧПУ его производительность (при условии, что вся продукция является годной) определяется двумя факторами: длительностью T рабочего цикла и числом деталей, изготавливаемых за цикл. Этот показатель получил название *цикловая производительность* $Q_{\text{ц}}$. Как правило, станки с ЧПУ за рабочий цикл выдают одну деталь, и поэтому формулу цикловой производительности чаще всего записывают в виде

$$Q_{\text{ц}} = 1/T. \quad (4.1)$$

Каждый рабочий цикл содержит: время t_p рабочих ходов, когда проводится обработка заготовки (это производительные затраты времени); время t_b несомещенных вспомогательных ходов, когда процесс обработки прерывается (это непроизводительно затраченное время, хотя загрузка и зажим обеспечивают необходимые условия для обработки заготовки). Тогда мы можем записать:

$$Q_{\text{ц}} = \frac{1}{t_p + t_b}. \quad (4.2)$$

Однако цикловая производительность $Q_{\text{ц}}$ характеризует лишь потенциальные возможности станка с ЧПУ по изготовлению деталей в условиях, когда он работает непрерывно, без простоев, и при этом вся выпущенная продукция является годной. В реальных условиях этого добиться невозможно. Поэтому формула производительности (4.2) должна учитывать простои станка с ЧПУ и вероятность появления иногда бракованных деталей.

Влияние простоев оборудования на его производительность определяют с учетом коэффициента использования или внецикловых потерь. Коэффициент использования $\eta_{\text{ис}}$ численно показывает, какую долю планового фонда времен θ станок с ЧПУ действительно функционирует и выдает детали. Например $\eta_{\text{ис}}=0,7$ означает, что 70% времени, принятого за базу, станок работал, а 30% этого времени простаивал. По определению

$$\eta_{\text{ис}} = \frac{\theta_p}{\theta} = \frac{\theta_p}{\theta_p + \sum \theta_n} = \frac{1}{1 + \sum \theta_n / \theta_p}, \quad (4.3)$$

где θ_p и θ_n — соответственно суммарное время работы и простоя станка за общее время θ .

Очевидно, что тогда фактическая производительность равна цикловой производительности, умноженной на коэффициент использования:

$$Q = \frac{1}{t_p + t_b} \eta_{ис}. \quad (4.4)$$

В большинстве случаев необходима расшифровка, почему величина $\eta_{ис}$ принимает те или иные значения, какие причины и виды простоев являются преобладающими.

Для станков с ЧПУ характерны:

1) собственные или технические простои $\sum \theta_c$, обусловленные техническими характеристиками самого станка (затраты времени на смену и регулирование инструмента, обнаружение и устранение отказов в работе, уборку и очистку станка, ремонт и профилактику и др.); они непосредственно связаны с технологическими процессами и конструкцией станка и его механизмов;

2) организационные простои $\sum \theta_{орг}$, обусловленные внешними факторами, которые, как правило, не связаны с технологическим процессом и конструкцией станков (отсутствие обрабатываемых заготовок, режущего инструмента, электроэнергии, несвоевременный приход и уход обслуживающих рабочих и др.). Они определяются уровнем производства, степенью загрузки станка с ЧПУ в данных конкретных условиях;

3) простои $\sum \theta_{пер}$ для переналадки станка с ЧПУ на изготовление новых деталей. Эти простои занимают промежуточное положение между предыдущими видами простоев, так как частота их определяется организационными факторами, а длительность — техническими.

Суммарные простои за произвольный период времени θ

$$\sum \theta_{п} = \sum \theta_c + \sum \theta_{орг} + \sum \theta_{пер}. \quad (4.5)$$

Тогда имеем

$$\eta_{ис} = \frac{\theta_p}{\theta} = \frac{1}{1 + \frac{1}{\theta_p} (\sum \theta_c + \sum \theta_{орг} + \sum \theta_{пер})}. \quad (4.6)$$

Коэффициент использования можно выразить как произведение частных коэффициентов, отражающих влияние тех или иных видов простоев:

$$\eta_{ис} = \eta_{тех} \eta_{пер} \eta_{загр}, \quad (4.7)$$

где $\eta_{\text{тех}}$ — коэффициент технического использования, численно показывающий долю времени, в течение которого станок с ЧПУ при обеспечении всем необходимым работает:

$$\eta_{\text{тех}} = \frac{\theta_p}{\theta_p + \sum \theta_c} = \frac{1}{1 + \sum \theta_c / \theta_p}. \quad (4.8)$$

Например, $\eta_{\text{тех}} = 0,8$ означает, что в периоды, когда станок с ЧПУ обеспечен всем необходимым для изготовления деталей, он 80% времени работает, а 20% этого времени простаивает по техническим причинам (без учета переналадок).

Коэффициент переналадок $\eta_{\text{пер}}$ показывает долю планового фонда времени, когда при условии обеспечения всем необходимым станок с ЧПУ может функционировать после его переналадки на изготовление другой детали:

$$\eta_{\text{пер}} = \frac{\theta_p + \sum \theta_c}{\theta_p + \sum \theta_c + \sum \theta_{\text{пер}}}, \quad (4.9)$$

или имеем

$$\eta_{\text{пер}} = \frac{1}{1 + \frac{\sum \theta_{\text{пер}}}{\theta_p + \sum \theta_c}}. \quad (4.10)$$

Например, $\eta_{\text{пер}} = 0,9$ означает, что в периоды, когда станок с ЧПУ имеет все организационные предпосылки для работы (есть заготовки, инструмент, электроэнергия и пр.), он 10% времени простаивает для переналадок для изготовления других деталей, а 90% времени может их обрабатывать с чередованием бесперебойной работы и технических простоев.

Коэффициент загрузки $\eta_{\text{загр}}$ показывает, какую долю планового фонда времени станок с ЧПУ обеспечен всем необходимым для работы, т.е. насколько он загружен в данных конкретных условиях производства. Например, $\eta_{\text{загр}} = 0,9$ означает, что 90% фонда времени станок имеет все необходимое для работы (есть заготовки, инструмент, рабочие на месте и т.д.), а в течение 10% времени чего-то не хватает:

$$\eta_{\text{загр}} = \frac{\theta - \sum \theta_{\text{орг}}}{\theta} = 1 - \frac{\sum \theta_{\text{орг}}}{\theta}. \quad (4.11)$$

Преимуществом оценки фактической производительности с помощью относительных коэффициентов $\eta_{\text{ис}}$, $\eta_{\text{тех}}$, $\eta_{\text{пер}}$, $\eta_{\text{загр}}$ является наглядность и простота интерпретации численных значений. Если

станок с ЧПУ, например, загружен согласно производственной программе на 90% ($\eta_{\text{загр}} = 0,9$), кроме того, 10% оставшегося времени простаивает для переналадок ($\eta_{\text{пер}} = 0,9$) и в периоды обеспечения всем необходимым работает лишь 80% времени ($\eta_{\text{тех}} = 0,8$), то в итоге доля планового фонда времени, когда станок работает и изготавливает детали, составляет по формуле (4.7)

$$\eta_{\text{ис}} = \eta_{\text{тех}} \eta_{\text{пер}} \eta_{\text{загр}} = 0,8 \cdot 0,9 \cdot 0,9 = 0,65,$$

т.е. потенциальные возможности станка с ЧПУ используются на 65%.

Однако для углубленного анализа более употребительна оценка фактической производительности (с учетом простоев) через так называемые внецикловые потери ($\sum B$ или $\sum t_{\text{п}}$):

$$\sum B = \frac{\sum \theta_{\text{п}}}{\theta_{\text{р}}}; \quad \sum t_{\text{п}} = \frac{\sum \theta_{\text{п}}}{Z},$$

где $\sum B$ — внецикловые потери как простои, приходящиеся на единицу времени бесперебойной работы; $\sum t_{\text{п}}$ — внецикловые потери как простои, приходящиеся на единицу изготовленной детали, мин/шт.; $\sum \theta_{\text{п}}$ — простои станка с ЧПУ за некоторый произвольный период времени, мин; $\theta_{\text{р}}$ — суммарное непосредственное время работы станка с ЧПУ за тот же период, мин; Z — количество деталей, изготовленных за тот же период. Связь внецикловых потерь с коэффициентом использования была показана в формуле (4.6).

Тогда, подставляя значение $\sum B$, получаем

$$\eta_{\text{ис}} = \frac{1}{1 + \sum B}. \quad (4.12)$$

Выразим $\eta_{\text{ис}}$ через $\sum t_{\text{п}}$:

$$\eta_{\text{ис}} = \frac{\theta_{\text{р}} / Z}{\theta_{\text{р}} / Z + \sum \theta_{\text{п}} / Z} = \frac{1}{1 + \frac{\sum \theta_{\text{п}}}{Z} \cdot \frac{Z}{\theta_{\text{р}}}}.$$

Подставляем значение $\sum t_{\text{п}}$, получаем

$$\eta_{\text{ис}} = \frac{1}{1 + \frac{\sum t_{\text{п}}}{T}}. \quad (4.13)$$

Суммарные внецикловые потери в соответствии с классификацией простоев делятся на собственные, организационные и потери из-за переналадки:

$$\sum B = \sum B_c + \sum B_{\text{орг}} + \sum B_{\text{пер}}; \quad (4.14)$$

$$\sum t_{\text{п}} = \sum t_c + \sum t_{\text{орг}} + \sum t_{\text{пер}}. \quad (4.15)$$

Качественные характеристики работы станков с ЧПУ учитываются в формулах производительности с помощью безразмерного коэффициента γ выхода годных деталей, численно равного доле годных деталей, принятой ОТК. С учетом рабочего цикла, внецикловых потерь и безразмерных коэффициентов суточная производительность станков с ЧПУ (шт./сутки)

$$Q = \frac{\theta \gamma}{t_p + t_b + \sum t_c + \sum t_{\text{пер}}} \eta_{\text{загр}}, \quad (4.16)$$

где θ — плановый фонд времени работы за сутки с учетом сменности работы.

Приведенные формулы являются базовыми при расчетах и анализе производительности как в процессе проектирования (ожидаемые значения), так и при эксплуатации (фактические значения).

Учитывая, что станки с ЧПУ применяются для изготовления деталей в условиях среднесерийного и мелкосерийного производства, когда обрабатываются небольшие партии заготовок разнообразных деталей, рекомендуется два основных метода расчета их производительности [2, 13]:

1) по типовой детали—представителю. Из числа деталей, закрепленных за данным станком с ЧПУ, или тех, которые могут здесь изготавливаться, выделяется одна, которая принимается типowym представителем. Недостаток этого метода заключается в трудности достоверного подбора типового представителя, так как выбранная деталь может иметь среднюю длительность обработки, но не средние вспомогательные ходы или время переналадки;

2) по интегральным характеристикам комплекта деталей, закрепленных для изготовления на данном станке с ЧПУ.

Второй метод является более точным для условий работы станков с ЧПУ. Его характеристика представлена в работах [2, 13].

Анализируя формулу фактической производительности станка с ЧПУ, можно отметить следующие пути повышения производительности:

- увеличение режима резания путем применения современных инструментов (сокращение t_p);
- сокращение времени загрузки и зажима заготовки, разжима и съема готовой детали; времени смены режущего инструмента (поворота револьверной головки, смены инструмента автоопе-

ратором); времени измерения и поднастройки режущего инструмента и др. (сокращение времени t_B);

- сокращение организационных простоев $\sum \theta_{\text{орг}}$;
- сокращение времени на переналадку станка с ЧПУ на изготовление другой детали $\sum \theta_{\text{пер}}$;
- сокращение простоев станка с ЧПУ из-за его технических неполадок $\sum \theta_c$;
- увеличение планового фонда времени работы станка с ЧПУ;
- снижение количества бракованных деталей.

4.3. ГИБКИЕ ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ МОДУЛИ И СТАНОЧНЫЕ СИСТЕМЫ

Дальнейшим развитием применения станков с ЧПУ (в том числе многоцелевых станков) с целью повышения степени автоматизации и производительности при сохранении высокой мобильности стало создание гибких производственных модулей (ГПМ), роботизированных технологических комплексов (РТК), гибких производственных ячеек (ГПЯ), гибких автоматических линий (ГАЛ) и гибких производственных систем (ГПС).

В соответствии с ГОСТ 26228–90 под ГПМ понимается единица технологического оборудования, автоматически осуществляющая технологические операции в пределах его технических характеристик, способная работать автономно и в составе гибких производственных ячеек или гибких производственных систем. ГПМ строятся на базе многоцелевых станков для обработки, как правило, корпусных заготовок. На рис. 4.5 показаны компоновочные схемы ГПМ, в которых применены различные транспортно-накопительные устройства для паллет с заготовками: линейные (рис. 4.5, а), круговые (рис. 4.5, б) и овальные (рис. 4.5, в).

Первый вариант устройства (см. рис. 4.5, а) применяется для тяжелых заготовок с паллетами, устанавливаемыми в стационарных позициях 3 и подвозимых к станку 1 транспортной тележкой 2.

Второй и *третий* варианты устройств (см. рис. 4.5, б, в) применяются для более легких заготовок и отличаются количеством позиций и занимаемой производственной площадью. Во втором варианте паллеты с заготовками устанавливаются, например, на карусели 2 и последовательно подаются в зону загрузки на станок 1. Съем паллет с готовыми деталями и загрузка позиций карусели паллетами с новыми заготовками производятся в позиции 3.

В третьем варианте паллеты с заготовками 3 (см. рис. 4.5, в) устанавливаются на овальном транспортере и последовательно подаются на перегрузочное устройство 2 и далее на станок 1.

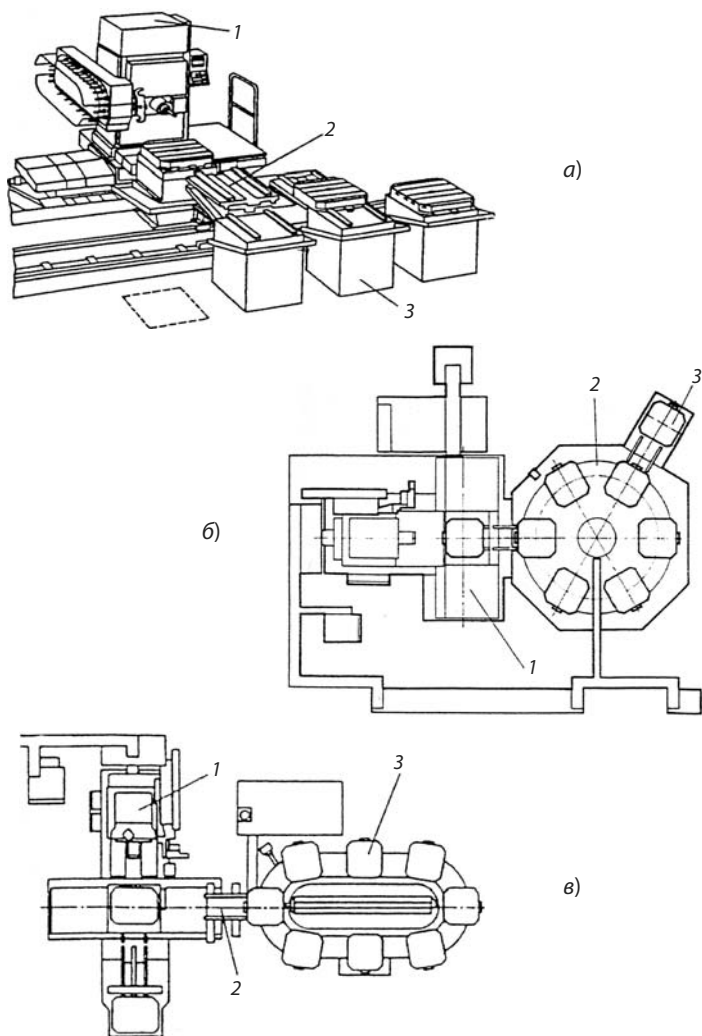


Рис. 4.5. Схемы компоновки ГПМ:

а, б, в — соответственно с линейным, круговым и овальным транспортно-накопительным устройством

На рис. 3.34 были показаны компоновки РТК, построенных на базе многоцелевых станков и различных промышленных роботов.

При создании ГПМ применяется модульный принцип, когда из отдельных модулей комплектуются необходимые компоновки ГПМ. На основе многоцелевых станков и ГПМ создаются станочные системы, расширяющие технологические возможности и обеспечива-

ющие еще большую производительность. Разновидностью таких систем являются ГАЛ, ГПЯ и ГПС (рис. 4.6).

В обобщенном виде под *станочной системой* понимают совокупность металлорежущего и вспомогательного (установленного в порядке реализации технологического процесса или произвольно) оборудования, объединенного системой управления, автоматическими механизмами и устройствами для транспортирования заготовок, деталей, разделения и соединения их потоков, накопления заделов, изменения ориентации и удаления отходов, предназначенную для изготовления (сборки) заданной номенклатуры изделий.

Станочные системы с различными видами оборудования могут применяться в массовом, крупносерийном, среднесерийном и мелкосерийном производстве. Для данных видов производств (см. рис. 4.6) применяют автоматические линии (АЛ) с жесткой связью, АЛ с промежуточными накопителями, переналаживаемые АЛ, гибкие автоматизированные линии, гибкие производственные ячейки и гибкие производственные системы, построенные на основе гибких производственных модулей и многоцелевых станков.

Гибкие автоматизированные линии (ГАЛ) имеют технологическое оборудование, расположенное в принятой последовательности выполнения технологического процесса обработки, в соответствии с чем ориентирован и поток заготовок. Однако применение в качестве технологического оборудования в основном станков с ЧПУ и многоцелевых станков в значительной степени увеличивает их мобильность при сохранении высокой производительности.

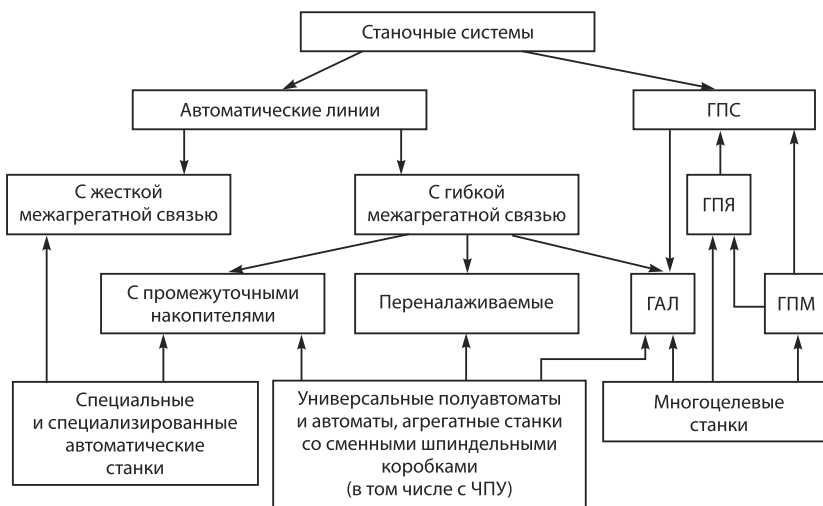


Рис. 4.6. Классификация станочных систем

Следующей структурной единицей гибких производственных систем является ГПЯ. Это управляемая средствами вычислительной техники совокупность нескольких ГПМ (или многоцелевых станков, моющих и контрольных машин) и системы обеспечения функционирования, осуществляющая комплекс технологических операций, способная работать автономно и в составе гибких производственных систем при изготовлении изделий в пределах подготовленного запаса заготовок и инструмента.

Последней, самой эффективной, но и самой сложной и дорогой станочной системой, применяемой для автоматизации средне- и мелкосерийного производства, является ГПС (рис. 4.7).



Рис. 4.7. Структурная схема ГПС

Под ГПС понимается управляемая средствами вычислительной техники совокупность технологического оборудования, состоящего из разных сочетаний многоцелевых станков, ГПМ и (или) ГПЯ, автоматизированной системы технологической подготовки производства и системы обеспечения функционирования, обладающая свойством автоматизированной переналадки при изменении программы производства изделий, разновидности которых ограничены технологическими возможностями оборудования.

ГОСТ 26228–90 устанавливает классификационные группировки ГПС по следующим признакам: комплектности изготовления изделий; методам обработки, формообразования, сборки и контроля; разновидности обрабатываемых изделий; уровню автоматизации.

4.4. ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ СТАНКОВ С ЧПУ ПУТЕМ КОРРЕКЦИИ ИХ ПОГРЕШНОСТЕЙ

На точность работы станков с ЧПУ влияет целый комплекс погрешностей, которые можно разделить на две группы:

- а) начальные погрешности станка;
- б) погрешности, возникающие при его эксплуатации.

Начальные погрешности станков с ЧПУ формируются на этапе разработки их компоновки и конструкции, выбора материалов для деталей станка, а также в процессе их изготовления и сборки (рис. 4.8).

В процессе эксплуатации станков с ЧПУ возникают дополнительные погрешности от упругих деформаций из-за действий сил резания, от температурных деформаций базовых деталей и узлов станка, а также из-за износа различных сопряжений станка (направляющих, подшипников, передач ходовой винт–гайка и др.). Все указанные

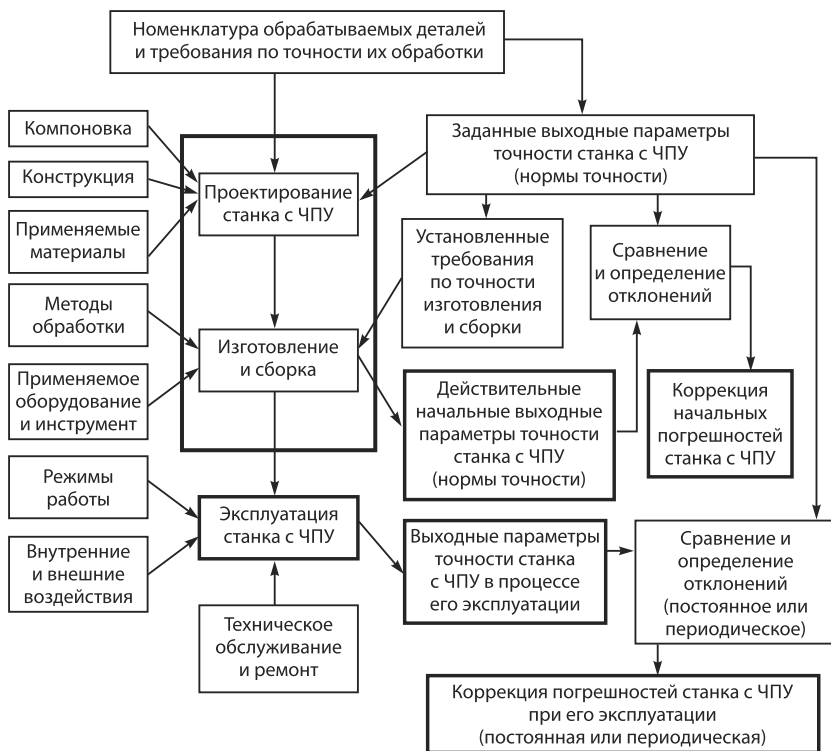


Рис. 4.8. Этапы формирования выходных параметров точности станков с ЧПУ

погрешности станка могут иметь разные величины, действовать в разных направлениях и поэтому по-разному влиять на выходные параметры точности станка.

Рассмотренные погрешности станков с ЧПУ могут приводить в совокупности к относительным линейным и угловым смещениям рабочих органов станка, несущих режущий инструмент и заготовку.

По своей природе возникающие в станке погрешности могут иметь систематический и случайный характер проявления. *Систематические погрешности* характеризуются их предсказуемостью, постоянством величины и характера их изменения при работе станка. Эти погрешности можно заранее измерить и знать характер их влияния на точность станка. Сложнее обстоит дело со *случайными погрешностями*, величина и характер проявления которых все время меняются, поэтому для их определения требуется постоянное определение их величины и характера действий на выходные параметры точности станка.

Погрешности станков с ЧПУ в процессе эксплуатации формируются более интенсивно, чем в обычных станках. Это обусловлено более напряженной эксплуатацией этих станков, их более значительной энергоемкостью и большими нагрузками на их узлы.

В общем виде можно выделить два различных, но взаимодополняющих направления повышения точности станков с ЧПУ:

- 1) предотвращение или уменьшение возможности возникновения погрешностей;
- 2) коррекция имеющихся и возникающих в процессе эксплуатации погрешностей.

Первое направление заключается в целенаправленном и экономически обоснованном воздействии на процесс разработки, изготовления, сборки и эксплуатации станка и системы ЧПУ, а также воздействии на возмущения, действующие на станок с ЧПУ в процессе его эксплуатации (см. рис. 4.8). Это направление, которое пока является более предпочтительным, заключается в рациональном проектировании компоновки и конструкции всех узлов и механизмов станка, выборе современных материалов, точном изготовлении и сборке узлов станка, выборе современных приводов и измерительных систем, а также в последующей рациональной эксплуатации и техническом обслуживании станка с ЧПУ.

Однако данное направление повышения точности станков с ЧПУ (особенно высокой точности) связано с большими затратами средств и времени. С другой стороны, сопротивляемость станка с ЧПУ, заложенная при его проектировании и изготовлении (жесткость, вибро- и термоустойчивость, износостойкость), действию на него в процессе эксплуатации внутренних и внешних факторов (сил резания, нагрева деталей и узлов, износа сопряжений, старения базовых

деталей и др.) имеет определенные границы, в результате чего не гарантируется длительное сохранение начальной точности станка с ЧПУ.

Проведение периодических регулировок сопряжений и узлов станка или внесение необходимых поправок в его работу существующими ранее способами имеет ограниченные возможности и не позволяет полностью корректировать возникающие погрешности выходных параметров станка. С другой стороны, их проведение приводит к длительным простоям дорогостоящего технологического оборудования.

В настоящее время благодаря разработке и внедрению современных микропроцессорных устройств ЧПУ с большим объемом памяти и высоким быстродействием, регулируемых быстродействующих приводов подач рабочих органов станка, механизмов для микроперемещений, различных типов ИП получает все более широкое применение *второе направление* повышения точности выходных параметров станков с ЧПУ путем измерения погрешностей станка и их последующей коррекции. В этом случае производится не максимальная изоляция станка с ЧПУ от действия внутренних и внешних воздействий, не стремление к созданию «идеальных» узлов и механизмов станка, а их взаимодействие с окружающей и рабочей средой, учет переменности условий работы станка с ЧПУ.

Оба рассмотренных пути повышения точности станков с ЧПУ на практике должны дополнять друг друга. Максимально возможное сокращение погрешностей станка с ЧПУ первым путем позволяет затем повысить эффективность второго пути, когда применяются системы коррекции погрешностей станка.

В общем виде возможны два способа коррекции погрешностей станков с ЧПУ и повышения точности их выходных параметров:

1) путем абсолютной стабилизации рабочих органов станка, несущих режущий инструмент и заготовку, относительно заданных положений;

2) путем относительной стабилизации, когда производится изменение пространственного положения одного из рабочих органов станка относительно другого.

Реализация рассмотренных способов коррекции погрешностей станков с ЧПУ в полной мере с линейными и угловыми смещениями рабочих органов очень сложна и практически пока не применяется. Существующие работы по коррекции погрешностей станков с ЧПУ решают эти задачи частично. В большинстве случаев рассматриваются и применяются способы коррекции погрешностей станков с ЧПУ путем линейных перемещений рабочих органов станка по управляемым координатам (или поворотом управляемого поворотного стола) с использованием существующих на станке точных

(с дискретностью 0,001 мм) следящих приводов подач этих рабочих органов. Особую трудность представляет коррекция угловых смещений рабочих органов.

Коррекция погрешностей станка с ЧПУ заключается в том, что в одном или нескольких составляющих блоках осуществляется суммирование первоначально заданной информации о перемещении рабочих органов станка с информацией о его корректируемых погрешностях. Поэтому практически коррекция погрешностей станка с ЧПУ может производиться:

- воздействием на УП, когда производится ее предыскажение на основе заранее рассчитанной или экспериментально определенной информации о погрешностях. Этот способ в настоящее время применяется редко;
- воздействием на управляющие сигналы, формируемые устройством ЧПУ и передаваемые на приводы подач рабочих органов станка;
- введением в станок с ЧПУ специальных корректирующих элементов или исполнительных устройств с микроприводами и последующим управлением ими от системы ЧПУ.

В последних двух случаях применяется так называемый программный способ коррекции погрешностей, основанный на управлении процессов коррекции по заданной программе с использованием системы ЧПУ.

Коррекция погрешностей в зависимости от способа получения информации о них может проводиться (рис 4.9):

- на основе использования информации о погрешностях станка с ЧПУ, полученной аналитическими расчетами или путем предварительного экспериментального измерения погрешностей станка. Полученная информация о погрешностях может учитываться при составлении УП путем ее предыскажения либо вво-

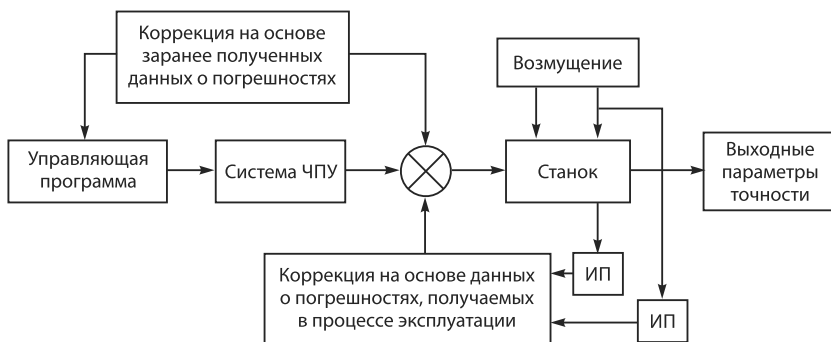


Рис. 4.9. Схема возможных вариантов коррекции погрешностей станка

даться в память устройства ЧПУ для последующей коррекции управляющих сигналов от устройства ЧПУ на приводы подачи станка. Недостатком данного способа коррекции является то, что в этом случае проводится коррекция только систематической составляющей погрешностей станка;

- на основе использования текущей информации о погрешностях станка с ЧПУ, получаемой непрерывно или с определенными интервалами с помощью ИП, установленных на станке. При этом информация может быть как о погрешностях станка с ЧПУ, так и о возмущениях, действующих на него. Данный способ получения информации позволяет проводить коррекцию систематической и случайной составляющих погрешностей. Однако необходимость установки на станке ИП (и часто в рабочей зоне) усложняет его конструкцию, затрудняет получение непосредственной (а не косвенной) информации о погрешностях станка.

На практике применяются оба способа коррекции погрешностей.

Так, например, на точность перемещения рабочих органов станка оказывают влияние накопленные погрешности ИП системы обратной связи, ходовых винтов, а также мертвый ход в звеньях механических передач привода подачи.

В общем виде коррекция накопленной погрешности по шагу ходового винта предусматривает следующий порядок. На станке предварительно экспериментально определяют исходную зависимость накопленной погрешности по шагу ходового винта от величины перемещения рабочего органа станка (рис. 4.10). Полученную зависимость аппроксимируют и вводят в память устройства ЧПУ в форме констант станка. При перемещении рабочего органа в процессе работы станка устройство ЧПУ определяет поправки, корректирующие погрешности ходового винта. Аналогично проводится коррекция мертвого хода в звеньях механических передач привода подачи. Алгоритм коррекции в этом случае предусматривает в точках реверса перемещения рабочего органа подачу на вход следящего привода дополнительных импульсов. Их число соответствует величине мертвого хода механизма привода подачи, измеренной заранее в единицах дискретности и находящейся в памяти устройства ЧПУ.

Как уже отмечалось, станки с ЧПУ имеют высокую энергонасыщенность, что приводит в процессе их работы к выделению большого количества теплоты и к температурным деформациям деталей и узлов станка. Поэтому в настоящее время интенсивно ведутся работы по разработке и применению различных способов снижения тепловыделений и температурных деформаций, которые можно разделить на две группы:

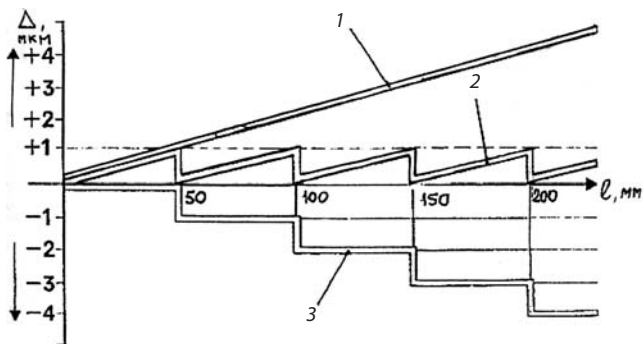


Рис. 4.10. Схема коррекции накопленной погрешности по шагу ходового винта привода подачи:

1 — график накопленной погрешности; 2 — скорректированная погрешность;
3 — корректирующие воздействия при перемещении рабочего органа станка

- способы без дополнительного отвода или подвода теплоты к узлам станка;
- способы, основанные на дополнительном отводе или подводе теплоты к узлам станка.

Способы первой группы, в свою очередь, подразделяются:

- на компоновочно-конструктивные способы;
- способы коррекции относительных линейных и угловых смещений рабочих органов станка.

Способы второй группы подразделяются:

- на способы, основанные на отводе теплоты охлаждением узлов станка и масла в гидросистеме;
- способы, основанные на подводе теплоты к узлам станка для быстрой стабилизации температуры нагрева и температурных деформаций;
- способы, основанные на стабилизации температуры окружающей среды и, соответственно, стабилизации температурных деформаций деталей станка.

Как отмечалось выше (см. раздел 3), температурные деформации могут быть снижены за счет более рациональной компоновки станка.

Конструктивно количество теплоты, выделяемое в станке, можно уменьшить двумя путями:

а) выносом тепловыделяющих механизмов (насосных установок, приводных двигателей, масляных баков, гидроаппаратуры и др.) из станины или других базовых деталей станка;

б) использованием конструкций с небольшим тепловыделением, что достигается применением шпиндельных подшипников с меньшим тепловыделением, использованием соответствующего смазочного материала, сокращением длины кинематических цепей.

Зубчатые и клиноременные передачи рекомендуется размещать так, чтобы потоки воздуха уносили часть выделяемой теплоты.

Уменьшение «чувствительности» станка к изменению его тепловых полей достигается изготовлением деталей станка из материалов с малым коэффициентом линейного расширения, теплоизоляцией источников теплоты, созданием термосимметричной конструкции станка и его механизмов. Влияние температурных деформаций может быть уменьшено соответствующим взаимным расположением фиксирующих элементов, например упорных подшипников в шпинделе (в передней или задней опоре), места крепления шпиндельной бабки на станине и др.

Как было сказано выше, снижение влияния температурных деформаций на точность станка в процессе его эксплуатации может производиться на основе применения систем их коррекции двумя способами:

1) постоянным измерением непосредственно смещений оси шпинделя с помощью ИП, однако это не всегда возможно или достаточно сложно;

2) измерением смещения оси шпинделя косвенным путем на основе измерения температуры в характерной точке на станке. В этом случае предварительно экспериментально устанавливается функциональная зависимость между изменением температуры в характерной точке на станке и смещением оси шпинделя.

На рис. 4.11 показан пример коррекции смещения оси шпинделя в многоцелевом станке с вертикальной компоновкой шпинделя фирмы *Olivetti* (Италия).

Примерно на уровне оси шпинделя в кронштейне 1 (рис. 4.11, а) шпиндельной бабки закреплен инваровый стержень 2, упирающийся в рычаг 3, поджимаемый к стержню 2 пружиной через струну 4, накрученную на вал измерительного преобразователя 5. При работе станка и смещении передней части шпиндельной бабки со шпинделем вправо при нагреве инваровый стержень (имеющий очень малый коэффициент линейного расширения) смещается также вправо, рычаг 3 отклоняется и ИП 5 выдает в систему управления сигнал для коррекции перемещения салазок станка по координате Y .

На рис. 4.11, б показаны график 1 смещения оси шпинделя без системы коррекции при частоте вращения шпинделя $n = 2780 \text{ мин}^{-1}$ и график 2 смещения при работе системы коррекции.

Значительно меньше разработано практических способов коррекции угловых смещений рабочих органов станка. Разработана и применена система коррекции углового смещения шпинделя с фрезой относительно рабочего стола применительно к вертикально-фрезерному станку. Здесь применен способ относительной стабилизации. В качестве исполнительных механизмов, осуществляющих поворот

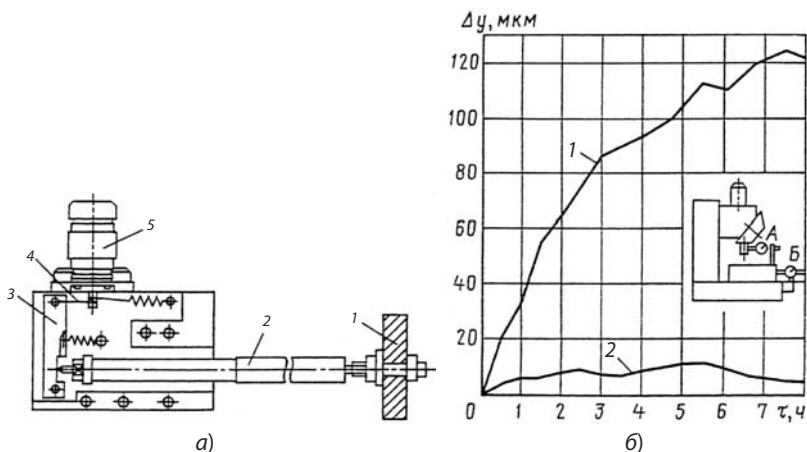


Рис. 4.11. Схема коррекции смещения шпинделя из-за температурных деформаций:

а — схема коррекции; *б* — графики смещений

фрезы, установленной на шаровой опоре на шпинделе станка, применяются электродвигатели постоянного тока с приводом, преобразующим вращательное движение в поступательное перемещение трех толкателей с роликами. Последние действуют на силовой диск, жестко связанный с фрезой, и обеспечивают ее необходимое пространственное положение относительно рабочего стола. Данный способ коррекции угловых смещений шпинделя был применен также на двухшпиндельном продольно-фрезерном станке.

Для коррекции угловых поворотов шпинделя из-за температурных деформации рекомендуется способ направленного нагрева (охлаждения) с помощью единичных нагревателей или тепловых труб (элементов охлаждения). Так, на одном из станков коррекция углового смещения оси шпинделя из-за температурных деформаций колонны станка (неперпендикулярность оси шпинделя поверхности рабочего стола станка) проводится за счет создания направленного теплового поля колонны станка с помощью закрепляемых на ней нагревательных и охлаждающих элементов.

В ряде случаев перспективным способом коррекции угловых смещений рабочих органов станка с ЧПУ является способ, основанный на применении микроприводов, позволяющих осуществлять с очень малой дискретностью линейные и угловые смещения рабочих органов.

Учитывая, с одной стороны, постоянное совершенствование и расширение возможностей микропроцессорных систем ЧПУ, разработку и применение новых измерительных систем, а с другой сто-

роны, постоянно растущие требования к точности станков с ЧПУ, повышение их точности путем коррекции погрешностей является достаточно перспективным и эффективным.

4.5. СИСТЕМЫ ТЕХНИЧЕСКОГО ДИАГНОСТИРОВАНИЯ

Повышение степени автоматизации и расширение функциональных возможностей станков с ЧПУ значительно усложняет их конструкцию и, как следствие, усложняет их техническое обслуживание, и особенно поиск причин отказов в работе этих станков в процессе эксплуатации.

Если в станках с ручным управлением причин отказов, как правило, мало и они часто известны или легко определяются оператором, то в станках с ЧПУ, включающим в себя взаимодействующие механические, гидравлические, пневматические, электрические и электронные механизмы, устройства, блоки, причин отказов может быть значительно больше и их нахождение требует часто больших затрат времени и средств. Вследствие возникающих при этом простоев станка снижается производительность работы этого дорогостоящего оборудования. Указанные проблемы усложняются дополнительно в связи с более интенсивной эксплуатацией станков с ЧПУ, работающих в три смены при минимальном количестве обслуживающего персонала. Обработка заготовок, благодаря применению современных режущих инструментов, проводится на более высоких режимах резания, чем раньше, что увеличивает нагрузки на различные механизмы и устройства станка с ЧПУ.

Как показала практика, причины целого ряда отказов могут быть очень несущественными, легко и быстро устранимыми, но время их поиска часто на порядок больше, чем время для их устранения, даже для высококвалифицированного наладчика или оператора. Поэтому все более широкое применение получают системы технического диагностирования.

Под *техническим диагностированием* (ТД) в соответствии с ГОСТ 20911–75 понимают определение технического состояния объекта диагностирования (станка, его отдельных узлов и механизмов, системы управления, ее отдельных блоков и элементов и др.) с определенной точностью. Его результатом является заключение о техническом состоянии данного объекта с указанием, при необходимости, места, вида и причины дефекта. Необходимо отметить, что система технического диагностирования только находит неисправности, но не устраняет их.

Применение систем технического диагностирования (ТД) позволяет значительно сократить простой станка с ЧПУ благодаря оперативной выдаче информации о месте и характере дефекта, а также

дает возможность прогнозировать состояние отдельных элементов станка с ЧПУ, режущих инструментов, оценивать погрешность обрабатываемых заготовок и своевременно выдавать информацию для проведения технического обслуживания и ремонта.

При разработке системы технического диагностирования необходимо в первую очередь охватывать те неисправности, которые приводят к наибольшим простоям и наибольшим затратам на устранение их последствий.

При поиске неисправностей различают тестовое диагностирование и функциональное диагностирование. В *первом* случае на станок с ЧПУ подаются тестовые воздействия (чаще всего на устройство ЧПУ). Во *втором* случае диагностирование осуществляется во время функционирования станка с ЧПУ и на него поступают только рабочие воздействия. При необходимости могут использоваться оба вида диагностирования.

Для получения диагностической информации проводят измерения следующих величин: вибраций, акустических колебаний, деформаций и усилий, производительности, длительности циклов обработки, температуры нагрева, износа режущего инструмента и др.

В экспериментальном научно-исследовательском институте металлорежущих станков (ЭНИМС) были разработаны рекомендации по реализации систем технического диагностирования станков с ЧПУ в виде пяти подсистем (рис. 4.12):

- контроль готовности станка и системы ЧПУ к работе;
- оперативное цикловое диагностирование;
- оперативное узловое диагностирование;
- специальное диагностирование;
- диагностирование по результатам обработки заготовок.

При *контроле готовности* станка с ЧПУ к работе (1 на рис. 4.12) используют такие средства контроля, как конечные выключатели, реле, ИП давления и др. Проверяется наличие и правильность зажима заготовки на станке, наличие режущего инструмента в магазине, требуемая величина давления в гидросистеме, наличие и объем СОЖ, наличие необходимого объема масла в баке и др.

При *оперативном цикловом диагностировании* (2 на рис. 4.12) используются конечные выключатели, реле, ИП систем обратной связи. Контролируется фактическая длительность суммарного времени цикла и его элементов (поворот руки, поворот стола и др.). Проводится анализ отклонения времени — заданного и фактического и дается прогноз на необходимость регулирования или ремонта механизма.

Оперативное узловое диагностирование (3 на рис. 4.12) предусматривает проверку приводов главного движения и подач, электроавтоматики станка, блоков УЧПУ и др. Результаты выводятся на экран дисплея УЧПУ.

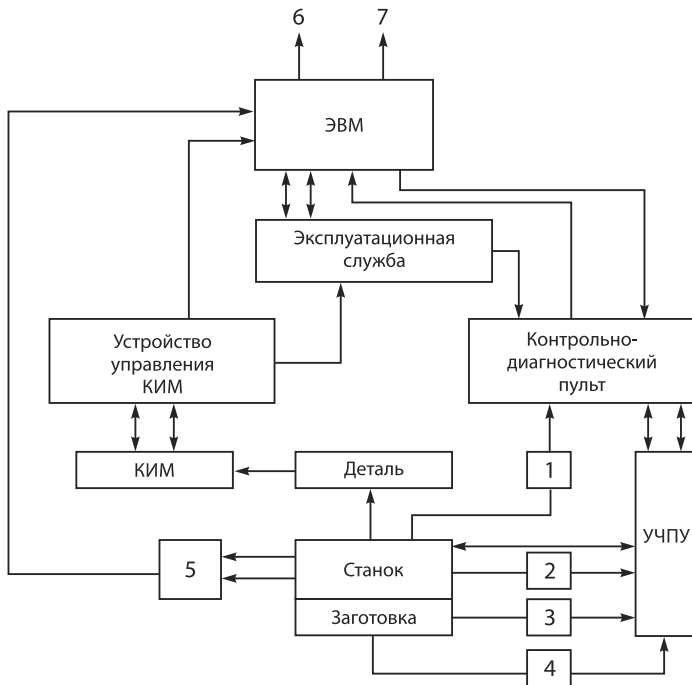


Рис. 4.12. Структурная схема информационных связей системы технического диагностирования станков с ЧПУ

Специальное диагностирование (5 на рис. 4.12) проводится редко с проверкой параметров геометрической и кинематической точности, наличия зазоров, упругих деформаций, износа направляющих и др. Для этого применяется специальная аппаратура с записью и обработкой данных на ЭВМ. По результатам измерений проводится анализ состояния станка с ЧПУ, сравнение с нормативными требованиями. На основе этого оценивается и прогнозируется техническое состояние станка с ЧПУ, необходимость его ремонта.

Диагностирование может проводиться также по результатам измерения обрабатываемой заготовки (4 на рис. 4.12), а также измерением готовой детали на контрольно-измерительной машине (КИМ).

По каналам 6 и 7 информация из ЭВМ поступает соответственно в систему учета хода производства и в систему подготовки УП.

Как было показано, задачи технического диагностирования могут быть различными, поэтому различаются частота и моменты времени, когда получают данные различных измерений.

Диагностирование может проводиться непрерывно в процессе всего времени работы станка с ЧПУ и обработки заготовок, напри-

мер контролируется температура в шкафу УЧПУ или температура масла в гидросистеме станка и др.

Ряд параметров, например система централизованного смазывания, контроль зажима каждой заготовки и точность изготовления каждого изделия и др., должны контролироваться периодически, но с большой частотой. Часть контрольных операций проводится с меньшей частотой, например один раз в смену или после каждой изготовленной партии деталей. Такие параметры станка, как точность, жесткость и др., должны контролироваться через длительные промежутки времени с очень малой частотой, поскольку эти параметры изменяются очень медленно и для их измерения требуются значительные затраты времени и средств. В отдельных случаях диагностирование может проводиться оператором в зависимости от конкретных требований и условий.

В настоящее время наиболее передовые фирмы — изготовители станков с ЧПУ предлагают новый вид сервиса, который получил название «телефонная диагностика». Ее принцип состоит в том, что диагностирование проводится на предприятии — изготовителе станка с ЧПУ. Естественно, что предприятие, эксплуатирующее станки с ЧПУ, может находиться в другом городе или даже в другой стране. Связь между этими предприятиями осуществляется по телефону. В случае возникновения у потребителя проблемы с диагностированием отказа станка он обращается к фирме-изготовителю и по телефону перекачивает информацию со своего компьютера в компьютер фирмы-изготовителя. Последняя имеет мощную диагностическую систему, которая не только обслуживает потребителей, но и в основном работает по совершенствованию выпускаемого оборудования, а также по доводке опытных образцов новых станков с ЧПУ. Фирма-изготовитель также имеет в своем распоряжении обширный пакет диагностических программ, базу данных и пакет расчетных моделей. Переданная по телефону информация в виде протокола измерений поступает в базу данных и служит исходной информацией для реализации расчетных моделей. Выполнение расчетов и анализ информации, имеющейся в базе данных, позволяют определить причину дефекта.

Контроль и диагностика систем числового программного управления в основном проводятся с помощью контрольных тестов, которые служат для выявления ошибок программ и неисправностей в системе ЧПУ. Основу тестовой диагностики устройства с ЧПУ составляет набор программных модулей, каждый из которых обеспечивает контроль работоспособности и локализацию места неисправности определенного блока устройства ЧПУ.

Станки с ЧПУ содержат две разнородные взаимодействующие системы: электронную систему ЧПУ, механические рабочие органы

и вспомогательные механизмы. Для последних характерны параметрические отказы, когда происходит постепенное ухудшение их параметров. В этом случае перед системами технического диагностирования ставятся не только задачи распознавания и установления вида и места дефекта, но и задача прогнозирования состояния узлов станка с возможным учетом ухудшения параметров в процессе дальнейшей работы. Сложность задач технического диагностирования станка заключается также и в необходимости их решения в эксплуатационных условиях при ограниченном объеме контролирующей аппаратуры.

Контроль и диагностирование *режущего инструмента* является важной задачей при работе станков с ЧПУ, учитывая относительно небольшую стойкость инструментов (40–60 мин), недопущение его критического износа и поломки.

Первой задачей является контроль возможной поломки осевого режущего инструмента для предотвращения получения бракованных деталей и возможной поломки узлов станка. Данный контроль основан на контактном ощупывании инструмента после обработки различными способами.

Второй важной задачей является контроль и диагностирование инструмента с целью своевременного определения его максимально допустимого износа, недопущения его поломки с последующей заменой его дублирующим инструментом, установленным в револьверной головке или в магазине. Система технического диагностирования может также выдавать сигнал оператору для замены износившегося инструмента вручную.

Применяются два способа диагностирования режущего инструмента:

- 1) пассивный, когда просто учитывается время работы инструмента специальным счетчиком;
- 2) активный, когда постоянно измеряется крутящий момент или сила резания и по их значениям определяется степень износа режущего инструмента.

При *первом* способе, зная время стойкости инструмента, его устанавливают на счетчике. По истечении этого времени инструмент заменяется.

Недостатком данного способа является то, что неизвестно точное время стойкости инструмента. Поэтому его могут заменить раньше времени (недоиспользуют его возможности) или, наоборот, слишком поздно, когда наступит его критический износ или вообще поломка.

При *втором* способе износ режущего инструмента и время его замены определяются косвенно через измерение крутящего момента или осевой силы на шпинделе станка. Аналогично может определяться осевая сила на ходовом винте.

На токарных станках с ЧПУ может определяться сила, действующая на резец и на револьверную головку, установленную на измерительной плите. Недостатком этих способов является косвенный способ определения износа инструмента, что может приводить к определенным погрешностям.

4.6. АДАПТИВНЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

При обработке заготовок на станках с ЧПУ уровень оптимальности принятых режимов резания зависит от того, насколько точно начальная информация характеризует действительные условия протекания процесса обработки и насколько изменяются исходные параметры, принятые при расчете и составлении УП (припуск, твердость обрабатываемого материала, жесткость технологической системы и др.).

В действительности условия процесса обработки изменяются во времени случайным образом по следующим причинам:

- непрерывно изменяются режущие свойства инструментов, которые невозможно точно определить в данный момент;
- неопределенные свойства всей технологической системы (упругие и температурные деформации, вибрации);
- для каждой заготовки из обрабатываемой партии имеется разброс припусков, твердости, структуры металла и др.

Адаптивные (самоприспосабливающиеся) системы управления, в отличие от систем ЧПУ, обеспечивают автоматическое приспособление процесса обработки заготовки к изменяющимся условиям обработки по определенным критериям. Это приспособление осуществляется на основе информации, получаемой системой управления непосредственно в процессе обработки заготовок.

На основе получаемой информации о текущем состоянии процесса обработки система адаптивного управления, увеличивая или уменьшая съем металла с заготовки путем соответствующего изменения скорости резания и подачи, поддерживает постоянным предельное значение какого-либо заданного параметра обработки (например, силы резания) или в более общем, но и более сложном случае — обеспечивает получение оптимальных значений точности, производительности или себестоимости обработки заготовок.

Предпосылками появления и развития адаптивных систем управления являются:

- необходимость автоматизации мелкосерийного производства, особенностью которого является большая номенклатура изготавливаемых деталей и, как следствие этого, весьма широкий диапазон изменения обрабатываемых материалов, режимов резания, припусков на обработку, твердости материала заготовок и др.;

- необходимость обработки заготовок из труднообрабатываемых материалов, по режимам резания которых нет проверенных данных;
- необходимость повышения точности изготовления деталей с компенсацией влияния на нее случайных факторов (колебание припуска, твердости и др.);
- необходимость ограничения режима обработки, заданного УП, в том случае, когда превышаются возможности станка (по допустимым значениям P , $M_{кр}$, N);
- необходимость выполнения сложных видов обработки с экономичным расходом режущего инструмента, предохранением инструмента от поломок (например, сверление отверстий диаметром до 3 мм в заготовках из жаропрочной стали);
- упрощение процесса подготовки УП;
- необходимость объединения проектирования и обработки с оптимизацией их выполнения и др.

Измеряемыми параметрами, характеризующими процесс обработки, могут быть: сила резания; вибрации; температура резания t , °С; крутящий момент $M_{кр}$ на шпинделе; мощность приводного двигателя N .

Наиболее информативным показателем процесса резания является изменение силы резания, которое обусловлено совместным влиянием изменения припуска на обработку, колебания твердости обрабатываемого материала, затупления режущего инструмента и др.

Адаптивные системы управления можно разделить на две группы: предельного управления и оптимального управления.

Адаптивные системы *предельного управления* обеспечивают постоянное значение заданных параметров процесса резания при действии различных возмущений (рис. 4.13). Так, в условиях переменных при-

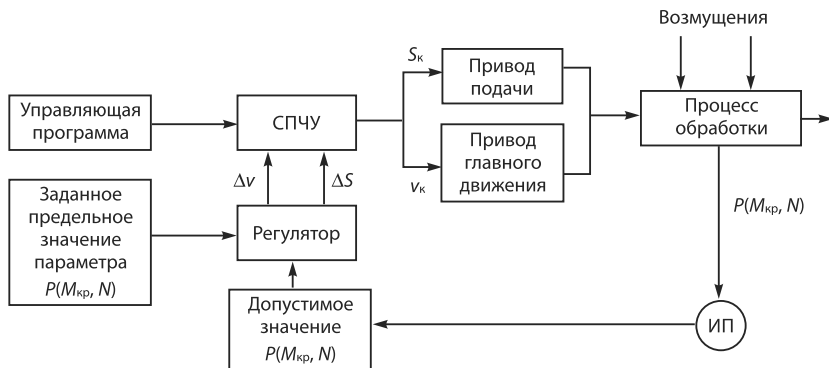


Рис. 4.13. Схема построения адаптивной системы предельного управления

пуска и твердости материала заготовки (возмущения) эта система управления стабилизирует заданное предельное значение силового параметра резания (например, силу резания P , крутящий момент на шпинделе $M_{кр}$ или мощность резания N), получая от ИП сигнал, соответствующий действительному значению этого параметра. Это производится соответствующим увеличением или уменьшением подачи S (на величину ΔS), скорости резания v (на величину Δv) и получения в результате этого скорректированных значений S_k и v_k , подаваемых на приводы станка. Наибольшее применение получили адаптивные системы предельного управления, в которых регулируемой величиной является только подача S .

Рассмотрим пример черновой обработки заготовки 1, имеющей припуск 3 с твердым включением 4, на фрезерном станке с ЧПУ фрезой 2 (рис. 4.14).

Величина припуска на заготовке переменная по длине обработки (от t_{min} до t_{max}), и кроме того, все заготовки в данной партии имеют разное случайное распределение этого припуска.

В случае выбора подачи $S_{об}$ в обычном случае мы можем принять припуск равным t_{max} . В этом случае подача $S_{об}$ имеет минимальное значение и инструмент работает в хороших условиях с точки зрения износа, но получаем большое время обработки и низкую производительность.

При выборе $S_{об}$ исходя из величины припуска t_{min} ее величина получается очень большой, время обработки сокращается, а стойкость инструмента резко падает, а при съеме припуска с твердым включением наступает критический износ и возможна даже поломка инструмента.

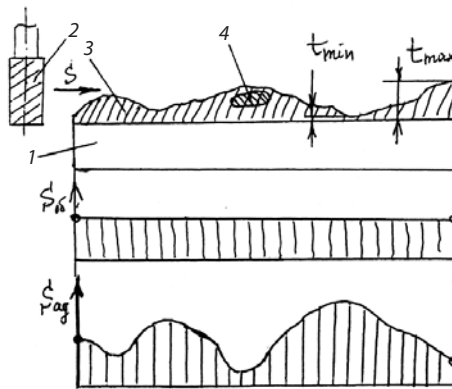


Рис. 4.14. Пример обработки заготовки на фрезерном станке при обычном ($S_{об}$) и адаптивном ($S_{ад}$) управлении

При выборе значения $S_{об}$ исходя из среднего значения припуска результат получается лучше, но здесь частично теряем и в стойкости, и в производительности.

При обработке данной заготовки на станке с адаптивной системой управления подача $S_{ад}$ будет переменной в зависимости от величины снимаемого припуска. Система адаптивного управления на основе измерения силы резания в процессе обработки и сравнения ее с заданным предельным значением регулирует величину подачи (ΔS на рис. 4.13), поддерживая постоянное значение силы резания. Поэтому при увеличении или уменьшении припуска сила резания, измеряемая ИП, возрастает или уменьшается. Система адаптивного управления снижает или увеличивает подачу, чтобы возникающая сила резания была равна ее установленному предельному значению.

Как видно из рис. 4.14, при наличии твердого включения 4 подача фрезы $S_{ад}$ резко падает, чтобы не было повышенного износа или поломки инструмента. Это особенно важно при сверлении небольших отверстий, когда система адаптивного управления работает как предохранительная система.

Предельные значения параметров, которые задаются данной системой при управлении обработкой, определяются на основе предварительного исследования процесса обработки.

Адаптивные системы *оптимального управления* (рис. 4.15) при обработке заготовок осуществляют автоматический поиск и поддержание таких сочетаний скорости резания v и подачи S , которые обеспечивают экстремальное значение целевой функции H обработки (точность, производительность или себестоимость обработки) при наличии технических ограничений и действии возмущающих воз-

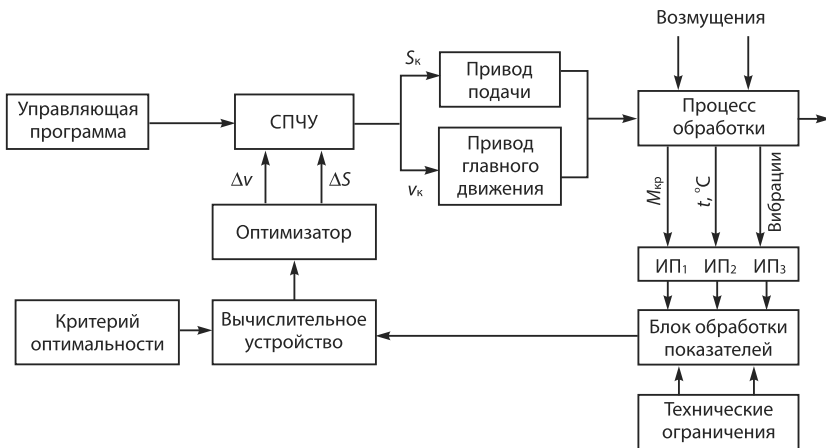


Рис. 4.15. Схема построения адаптивной системы оптимального управления

действий (колебаний припуска, твердости материала заготовки, изменения режущих свойств инструмента и др.) (рис. 4.16).

Техническими ограничениями являются максимальные и минимальные значения параметров, допустимых на данном станке: S_{\max} , S_{\min} , $n_{\text{шп}}^{\max}$, $n_{\text{шп}}^{\min}$, максимально допустимая глубина резания, уровень вибраций и др.

Основой для построения адаптивных систем оптимального управления является математическая модель управляемого процесса обработки, задающая аналитически систему технических ограничений области поиска оптимальных режимов резания и выражающая зависимость критерия оптимальности от параметров процесса обработки.

Адаптивные системы управления особенно эффективно применяются на фрезерных станках при обработке сложных заготовок концевыми фрезами небольшого диаметра, на токарных станках — при обработке заготовок сложными фасонными резцами с поперечной подачей, на электроэрозионных станках и др. Однако широкое внедрение адаптивных систем управления в металлообработку сдерживается пока большой сложностью и высокой стоимостью этих систем (особенно адаптивных систем оптимального управления), а также часто еще недостаточной эффективностью их применения, обусловленной целым рядом причин:

а) недостаточными знаниями математических зависимостей для разработки моделей управляемых процессов резания, особенно при обработке новых материалов;

б) отсутствием во многих случаях необходимых измерительных средств (измерительных преобразователей требуемых размеров, точности, надежности, быстродействия, помехоустойчивости и др.);

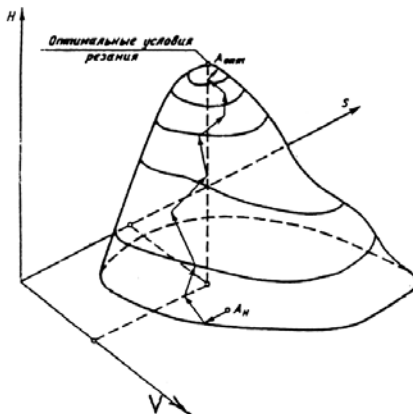


Рис. 4.16. Схема поиска оптимальных значений критерия производительности H

в) неприспособленностью конструкции многих металлорежущих станков и их отдельных механизмов к наиболее рациональному размещению этих преобразователей на станке, недостаточностью быстродействия отдельных механизмов станка и др.

4.7. УСТРОЙСТВА ДЛЯ АВТОМАТИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ ТОЧНОСТИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ И ДЛЯ НАСТРОЙКИ РЕЖУЩИХ ИНСТРУМЕНТОВ

Дальнейшая автоматизация станков с ЧПУ позволила проводить:

- контроль точности обрабатываемых заготовок (перед чистовым проходом или после полной обработки) непосредственно на станке;
- поднастройку режущего инструмента на основе измерения заготовки перед чистовым проходом;
- измерение действительного положения режущей кромки инструмента (при неточной его предварительной установке в оправке или в резцедержавке и при износе) и проводить коррекцию его исходного положения;
- измерение действительного положения заготовки на столе станка перед ее обработкой.

В общем случае возможны два варианта измерения точности обработки заготовки: непосредственно на станке или после снятия со станка различными измерительными средствами, в том числе на контрольно-измерительной машине (КИМ).

Измерение на станке проводится специальными измерительными щупами, которые устанавливаются в одной из позиций револьверной головки на токарных станках с ЧПУ или в оправке с коническим хвостовиком в инструментальном магазине многоцелевого станка. При необходимости измерения оправка с измерительным щупом устанавливается в шпиндель станка.

Измерение точности обработки заготовки непосредственно на станке с ЧПУ стало возможным благодаря достаточно высокой точности позиционирования его рабочих органов, на которые устанавливается измерительный щуп (дискретность перемещений привода подач в современных станках с ЧПУ равна 1 мкм, а в некоторых — 0,1 мкм).

Измерительный щуп является съемным, и поэтому передача сигнала от него в процессе измерения должна выполняться бесконтактно. После цикла измерения щуп автоматически перегружается в инструментальный магазин. Приемник сигнала щупа желательно располагать дальше от зоны обработки, чтобы на него не попадали

СОЖ и стружка. Этим условиям отвечает измерительный шуп с использованием инфракрасного излучения для передачи сигнала.

Достаточно прост и надежен также индуктивный способ передачи сигнала касания.

При расточке точных отверстий в заготовке измерительный шуп может применяться для измерения полученного диаметра перед чистовым проходом. После этого проводится коррекция радиального размера расточного резца в оправке.

Таким образом, применение измерительных шупов дает возможность определять погрешности обработки, измерять износ инструмента и проводить соответствующие коррекции этих погрешностей непосредственно на станке без съема заготовки. Это также исключает необходимость наличия специального измерительного устройства вне станка.

Недостатками являются: простой дорогостоящего станка с ЧПУ во время измерений; неблагоприятные условия измерений (СОЖ, стружка, высокая температура); зависимость точности измерений от точности перемещений рабочего органа, несущего измерительный шуп.

4.8. ПРИСПОСОБЛЕНИЯ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ НА СТАНКАХ С ЧПУ

Для точной установки и закрепления на станке с ЧПУ обрабатываемых заготовок применяются различные приспособления. Они должны обеспечивать условия для быстрой, точной, многократной установки и зажима заготовки, удобный доступ к ней режущего инструмента при минимальном количестве ее перестановок.

Применяемые приспособления подразделяются:

- на приспособления для установки и закрепления заготовок на токарных станках с ЧПУ;
- приспособления для установки и закрепления заготовок на столе (перемещающемся, поворотном или неподвижном) фрезерных и многоцелевых станков.

Учитывая особенности станков с ЧПУ, к применяемым на них приспособлениям предъявляются следующие основные требования:

- обеспечивать большую точность установки заготовок, чем в приспособлениях к универсальным станкам, и иметь повышенную жесткость;
- иметь возможность быстро заменять (или перенастраивать) приспособление на столе станка и точно ориентировать его относительно начала системы координат станка;
- установочные элементы и зажимные устройства приспособления не должны препятствовать подходу режущего инструмента к обрабатываемым поверхностям заготовки (обеспечить при не-

обходимости обработку с четырех или даже с пяти сторон без переустановки заготовки);

- обеспечивать минимальную высоту выступающих над заготовкой элементов приспособления с целью уменьшения длины применяемых оправок режущего инструмента;
- использовать наличие отводных, съемных и откидных прихватов на приспособление с целью обеспечения полного цикла обработки заготовки;
- иметь возможность производить съем изготовленной детали и установку заготовки вне рабочей зоны станка, совмещая время на такую смену с временем его работы.

С другой стороны, определенные требования предъявляются и к обрабатываемым на станках с ЧПУ заготовкам:

- они должны иметь хорошо оформленные установочные базовые поверхности, обеспечивающие точность базирования и надежность установки, а также удобные места для приложения сил зажима, надежное закрепление без деформации. При необходимости конструктор должен предусматривать технологические приливы, платики, бобышки, отверстия и др.;
- для исключения переустановки заготовок или применения дополнительных приспособлений желательно, чтобы заготовки не имели поверхностей и отверстий, расположенных под углом;
- для обеспечения высокой точности базирования предпочтительно конструировать детали, позволяющие базировать их при обработке по трем плоскостям. При этом применяют в основном чистые базовые поверхности, которые на первых операциях обрабатывают на обычных универсальных станках. При невозможности базировать заготовку по трем плоскостям применяют менее точную схему базирования — по плоскости и двум отверстиям. При этом отверстия должны быть максимально удалены друг от друга и выполнены не ниже чем по 7-му качеству.

По степени специализации приспособления, применяемые на станках с ЧПУ, подразделяются на следующие системы:

- *система универсально-безналадочных приспособлений (УБП)*. Конструкция этих приспособлений представляет собой законченный механизм с постоянными регулируемыми (несъемными) элементами для установки различных заготовок. Они предназначены для многократного использования. К системе УБП относятся различные патроны, в частности поводковые, машинные тиски и др.;
- *система универсально-наладочных приспособлений (УНП)*. Данные приспособления состоят из универсального базового агрегата и сменных наладок. Примерами таких приспособлений являются трехкулачковый переналаживаемый патрон, перена-

ладка которого чаще всего сводится к замене кулачков, и универсально-наладочные тиски с пружинно-гидравлическим приводом;

- *система специализированных наладочных приспособлений (СНП)* обеспечивает базирование и закрепление типовых по конфигурации заготовок различных размеров;
- *система универсально-сборных приспособлений (УСП)*. Компоновки УСП собираются из стандартных элементов, изготовленных с высокой степенью точности. Элементы и узлы фиксируются системой шпонка — паз. Высокая точность элементов УСП обеспечивает сборку приспособлений без последующей механической доработки. После использования компоновок их разбирают на составные части, многократно используемые в различных сочетаниях в новых компоновках;
- *система универсально-сборных механизированных приспособлений для станков с ЧПУ (УСПМ-ЧПУ)* является развитием системы УСП. Компоновки специальных приспособлений системы УСПМ-ЧПУ предназначены для установки заготовок на фрезерных станках с ЧПУ и многоцелевых станках. Основой комплектов УСПМ-ЧПУ являются гидравлические блоки, представляющие собой базовые плиты УСП с сеткой пазов и встроенными гидроцилиндрами, а также плиты без встроенных цилиндров. В последнем случае для механизации зажимов применяют различные гидроцилиндры;
- *система сборно-разборных приспособлений (СРП-ЧПУ)*. Компоновки СРП собираются из стандартных деталей и сборочных единиц, фиксируемых относительно друг друга системой палец — отверстие. Для этой цели в базовых деталях имеются сетки точных координатно-фиксирующих отверстий. Детали и сборочные единицы компоновок СРП крепятся посредством Т-образных пазов. В компоновках СРП в отличие от УСП число сборочных единиц преобладает над деталями. Приспособления переналаживаются посредством перекомпоновки, регулирования положения базирующихся и зажимных элементов или замены сменных наладок;
- *система неразборных специальных приспособлений (НСП)*. Приспособления этой системы не являются переналаживаемыми. Детали нельзя повторно использовать в других компоновках. На станках с ЧПУ приспособления такой системы целесообразно применять лишь как исключение в том случае, если нельзя применить ни одну из переналаживаемых систем. Конструкция такого приспособления должна быть максимально упрощена.

По степени автоматизации приспособления можно классифицировать на приспособления с ручным приводом и приспособления с

автоматизированным приводом и управлением. В свою очередь, последние в зависимости от типа привода подразделяются на механические, гидравлические, пневматические и магнитные.

4.8.1. Приспособления для токарных станков с ЧПУ

Данные приспособления могут быть следующих видов: зажимные кулачковые патроны; токарные центры; поводковые зажимные устройства; цанговые зажимные устройства; планшайбы; люнеты (для поддержания обрабатываемых валов большой длины).

Закрепление заготовок в зажимных кулачковых патронах на шпинделе станка используется достаточно широко как при обработке коротких заготовок типа фланцев, так и при обработке валов. В последнем случае при длине вала, превышающей его диаметр более чем в 10 раз, он одним концом устанавливается и закрепляется кулачками в патроне, а на втором конце поджимается центром, установленным в задней бабке. Для исключения прогиба вала под действием сил резания в этом случае применяется дополнительная опора — люнет. В зависимости от количества кулачков различают двух-, трех- и четырехкулачковые зажимные патроны. Наиболее часто используется самоцентрирующий трехкулачковый патрон. Он обеспечивает быстрое, точно отцентрированное закрепление цилиндрических заготовок. Четырехкулачковый патрон применяется для закрепления четырех-, шести-, восьми- и двенадцатиугольных, а также округлых заготовок.

Поскольку обработка на токарных станках с ЧПУ производится при черновых и чистовых режимах, необходимо оснащение патронов как калеными кулачками, так и сырыми, растачиваемыми непосредственно на станках. При этом замена кулачков не должна занимать много времени.

В станках с ЧПУ наибольшее распространение получили самоцентрирующие клиновые и рычажно-клиновые патроны (рис. 4.17).

На рис. 4.18 показана конструкция автоматизированного зажимного устройства с клиновым кулачковым патроном и гидроцилиндром с поршнем.

Закрепление заготовки в центрах применяется обычно при обработке валов, имеющих отношение длины к диаметру от 4 до 10.

В тех случаях, когда необходимо сохранить достоинства токарной обработки в центрах и при этом сообщить заготовке больший крутящий момент, совместно с центрами используют поводковые патроны.

Для зажима заготовок в виде прутка разного поперечного сечения на токарных станках с ЧПУ применяются цанговые патроны. Главным элементом этих патронов является зажимная цанга, выполнен-

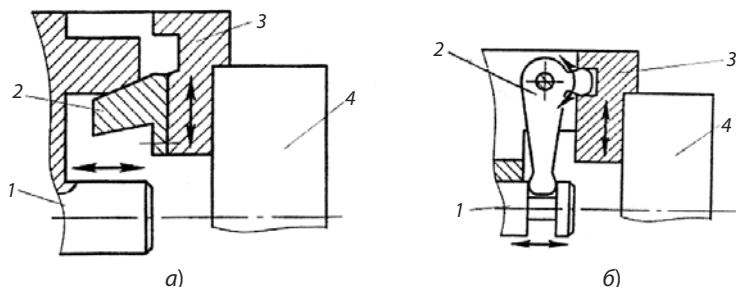


Рис. 4.17. Клиновой патрон:

a — схема (1 — тяга; 2 — клин; 3 — кулачок; 4 — заготовка); *б* — рычажно-клиновой патрон (1 — тяга; 2 — двуплечий рычаг; 3 — кулачок; 4 — заготовка)

ная в виде стальной закаленной втулки с прорезями, образующими несколько упругих лепестков. Наибольшее применение получили цанговые патроны трех типов: нажимные, натяжные и с промежуточной зажимной втулкой в виде трубы.

В патроне с цангой *нажимного действия* цанга с усилием вдвигается в коническое отверстие втулки в шпинделе станка. Недостатком такого патрона является снижение усилий зажима под действием сил резания.

Патрон *натяжного действия* предусматривает втягивание цанги в коническое отверстие шпинделя. В этом случае при малых габаритах обеспечивается высокая жесткость и повышение усилия зажима

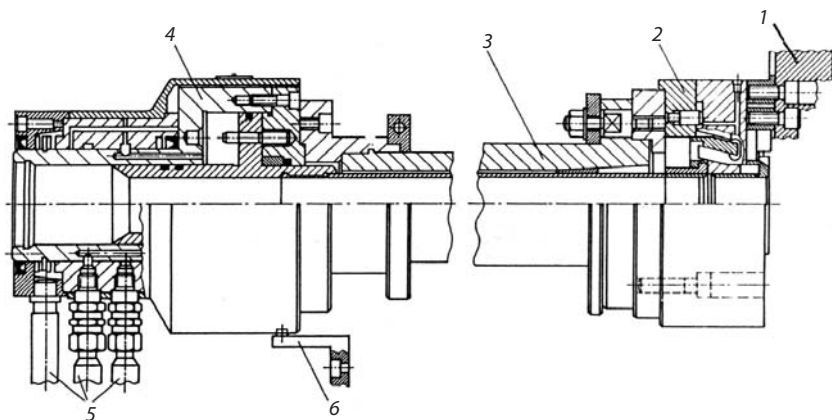


Рис. 4.18. Конструкция автоматизированного зажимного устройства с клиновым патроном и гидроприводом:

1 — кулачки; 2 — патрон; 3 — шпиндель станка; 4 — гидропривод; 5 — трубопроводы подвода и отвода масла; 6 — кронштейн

под действием сил резания. Однако при зажиме прутка происходит его осевое смещение и отход от упора, расположенного в револьверной головке станка. Это снижает точность обработки в осевом направлении.

В патронах *третьего типа* на неподвижную в осевом направлении цангу, упирающуюся в гайку, закрепленную на шпинделе станка, надвигается зажимная втулка-труба с внутренней конической поверхностью и зажимает цангу и пруток. При применении этих патронов исключается смещение прутка при зажиме. Силы резания увеличивают усилие зажима. Однако радиальные габариты такого патрона больше, чем у предыдущих цанговых патронов. Для этих патронов применяют электромеханические, гидравлические и пневматические приводы их зажима.

При токарной обработке заготовок типа втулок или тонкостенных гильз применяют центровые оправки с разрезной цангой.

4.8.2. Приспособления для установки и закрепления заготовок на столе станков с ЧПУ

Базирование приспособлений на столе станка без дополнительной выверки значительно сокращает время, связанное со сменой приспособлений. Для этого у них должны быть предусмотрены базирующие элементы, соответствующие посадочным местам станков.

Применяются следующие способы установки и ориентации приспособлений:

- установка приспособлений на координатную плиту, жестко закрепленную и выверенную на столе станка, а также имеющую сетку координатных отверстий и Т-образных пазов (рис. 4.19). Центральное отверстие координатной плиты совмещается с нулевой точкой системы координат станка. Таким образом ее базовые отверстия зафиксированы в системе координат станка. Исходная точка УП задается от любых выбранных базовых отверстий координатной плиты;

В качестве универсально-безналадочных приспособлений применяются тиски.

На рис. 4.20 показаны примеры специализированных наладочных приспособлений для установки заготовок, родственных по конфигурации, на фрезерных станках с ЧПУ и на многоцелевых станках с вертикальной компоновкой шпинделя.

Основой приспособления является плита с сеткой координатно-фиксирующих и крепежных Т-образных пазов или отверстий, предназначенных для установки и закрепления базирующих и зажимных устройств. В качестве базирующих устройств применяют упоры, призмы, губки тисков, кулачки патронов и др., в качестве зажимных — губки, кулачки, прихваты и другие элементы.

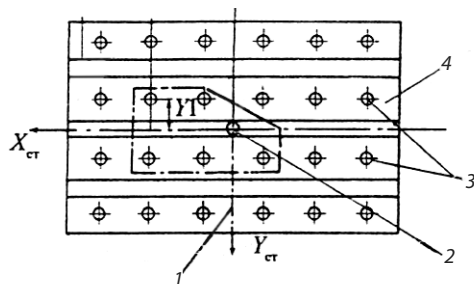


Рис. 4.19. Ориентация приспособления с установленной заготовкой при использовании координатной плиты:

1 — система координат станка; 2 — нулевая точка станка (координатной плиты);
3 — базовые отверстия координатной плиты; 4 — координатная плита

При установке и закреплении на плите 4 простых заготовок 1 обычно достаточно плоских прихватов 2, ступенчатых опор 3 и крепежных болтов с гайками и шайбами (рис. 4.20, а). Если заготовка 1, устанавливаемая на плите 4, имеет более сложную форму, то для ее крепления кроме прихватов 2 и ступенчатых опор 3 применяют регулируемые опоры 5 (рис. 4.20, б).

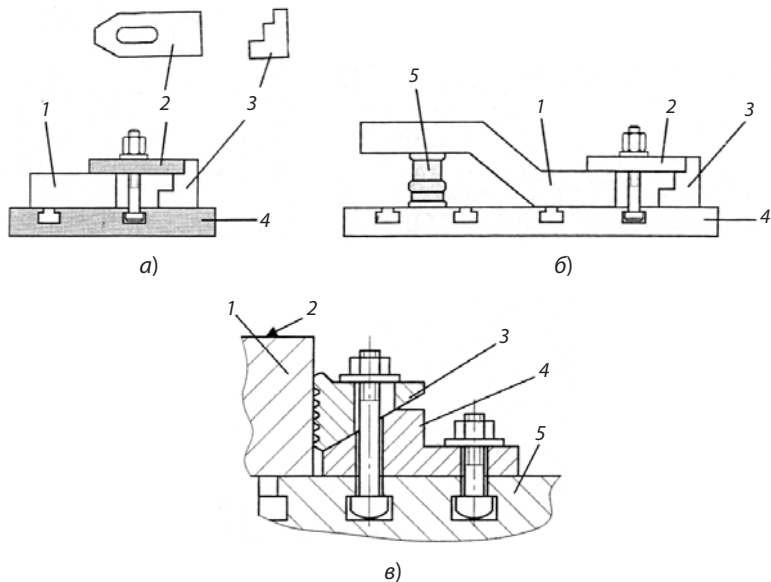


Рис. 4.20. Схема установки и закрепления заготовок прихватами:
а — заготовки типа плиты; б — заготовки типа рычага; в — плоской заготовки с возможностью обработки всей верхней ее поверхности

Если на плите 5 стола станка необходимо установить и закрепить заготовку 1, на которой необходимо обрабатывать верхнюю поверхность 2, ее закрепление производится клиновым прижимом 3, поджимаемым к заготовке и к основанию прижима 4 (рис. 4.20, в).

Широкое применение для станков с ЧПУ, благодаря своей универсальности и способности к быстрой переналадке, получили универсально-сборные приспособления. В составе УСП имеется базовое основание (плато) с сеткой точных Т-образных пазов и быстросменные наладочные элементы, являющиеся сборочными единицами, предназначенными для базирования и закрепления заготовок. Компоненты УСП собираются из стандартных элементов высокой точности (погрешность расположения базовых поверхностей не превышает 0,01 мм).

В один полный комплект УСП входит от 10 до 25 тыс. деталей, из которых, используя различные сочетания элементов, можно одновременно собрать от 80 до 100 разных приспособлений. Положение каждого элемента УСП при сборке фиксируется с помощью трех-четырех шпонок и соответствующего количества пазов, а крепление осуществляется резьбовыми крепежными деталями.

Приспособления, собранные из элементов УСП, обладают всеми качествами специальных приспособлений, имея перед ними важное преимущество — после окончания обработки заданного количества деталей они разбираются, а их составные части используются для сборки других приспособлений.

Помимо системы УСП, при обработке на станках с ЧПУ применяются и другие системы, в частности модернизированная версия системы УСП — система УСПМ-ЧПУ. Основное отличие ее заключается в том, что в базовые элементы системы встроены гидроцилиндры, благодаря чему намного повышается быстродействие зажимных устройств и усилие зажима заготовки.

В сборно-разборных наладочных приспособлениях их элементы фиксируются системой палец — отверстие в отличие от УСП, где фиксация осуществляется системой шпонка — паз. Система палец — отверстие гарантирует более высокую точность, жесткость и стабильность параметров приспособления. Фиксирующие отверстия выполнены во втулках из прочного и износостойкого металла, втулки запрессованы в корпуса плит и угольников. Для крепления базовые элементы комплекта снабжены Т-образными пазами.

Станочные приспособления с магнитным и электромагнитным приводом используют в своей работе энергию магнитного поля, поэтому у них несколько сужена область применения — они могут работать только с заготовками из ферромагнитных материалов (прежде всего из стали и чугуна).

Если источником магнитной энергии является электромагнит, то такой привод называется *электромагнитным*, если постоянный магнит — то *магнитным*. Данные приспособления достаточно просты, имеют высокую жесткость, низкую стоимость.

Приспособления с *электромагнитным приводом* могут применяться для практически неограниченных размеров зажимаемых заготовок. При этом на них имеется возможность регулировать усилия фиксации (зажима) заготовки, легко автоматизировать процесс зажима и разжима. Но они имеют и ряд недостатков: наличие токопроводов и системы управления; выделение значительного количества теплоты; возможность возникновения аварийной ситуации при отключении электропитания.

Приспособления с *магнитным приводом* автономны и не зависят от внешнего источника энергии, безопасны в эксплуатации, но при их применении невозможно регулировать усилие зажима заготовки, сложно автоматизировать их работу.

При применении обоих видов приспособлений необходимо размещать детали после их изготовления. Отличительной особенностью этих приспособлений является также то, что при их применении положение заготовки на столе станка может быть произвольным относительно осей координат. Поэтому в тех случаях, когда требуется строгая ориентация заготовки при обработке, необходимо дополнять магнитное приспособление различными элементами, обеспечивающими точное положение заготовки на магнитной плите.

Подробное описание приспособлений, применяемых на станках с ЧПУ, см. в литературе.

РАЗДЕЛ 5

ЭТАПЫ ПОДГОТОВКИ УПРАВЛЯЮЩИХ ПРОГРАММ ДЛЯ СТАНКОВ С ЧПУ

5.1. ПРОЦЕСС ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ИНФОРМАЦИИ В СИСТЕМЕ «ЧЕРТЕЖ — ГОТОВАЯ ДЕТАЛЬ». ОСНОВНЫЕ ЭТАПЫ И ЗАДАЧИ, РЕШАЕМЫЕ ПРИ ПОДГОТОВКЕ УП

При числовом программном управлении станками процесс подготовки управляющих программ (УП) — это последовательное программирование отдельных этапов обработки детали. В общем случае означает подготовку и нанесение на программноноситель необходимых команд, которые могут быть автоматически прочитаны и выполнены системой ЧПУ и самим станком.

Процесс подготовки УП можно представить, рассматривая его как процесс передачи и преобразования информации в системе «чертеж детали — готовая деталь».

Система «чертеж—деталь» — это совокупность технических средств и процессов по преобразованию информации чертежа в материальную деталь, соответствующую техническим требованиям (точности размеров, формы, шероховатости и качеству поверхностного слоя) и другим технико-экономическим показателям (минимальным приведенным затратам, минимальной себестоимости и т.п.).

Структура системы «чертеж—деталь» зависит от сложности изготавливаемых деталей, объемов их производства, уровня автоматизации технических средств и является многоуровневой. *Верхний* уровень представлен чертежом, *нижний* уровень — элементами технологической системы: станком с ЧПУ, приспособлением, режущим инструментом, заготовкой (деталью). С точки зрения преобразования информации при подготовке управляющих программ для станков с ЧПУ система «чертеж—деталь» содержит подсистемы: технологической подготовки (ТП); математических расчетов (МР); изготовления и контроля управляющих программ (ИКП); внедрения процесса обработки по УП (ВП) (рис. 5.1). Задачи, решаемые на всех этапах подготовки УП в представленных подсистемах, даны на рис. 5.2.

Подсистема технологической подготовки (ТП) включает следующие этапы работ.

1 этап. Подготовка исходных данных для проектирования технологического процесса изготовления детали на станке с ЧПУ.

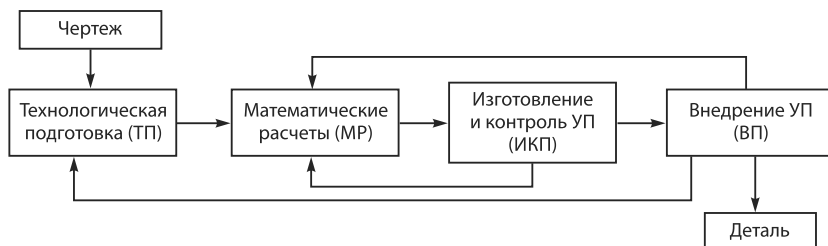


Рис. 5.1. Преобразование информации в системе «чертеж–готовая деталь»

II этап. Разработка маршрутной технологии изготовления детали.

III этап. Проектирование операционной технологии изготовления детали.

На этапе подготовки исходных данных (I этап) для проектирования технологического процесса должен быть проведен технико-экономический анализ целесообразности изготовления детали на станке с ЧПУ, осуществлен выбор конкретного станка с ЧПУ исходя из условий: соответствия системы ЧПУ и количества управляемых координат станка, потребных для обработки; соответствия размеров рабочей зоны станка габаритным размерам детали; соответствия мощности, жесткости и технических характеристик станка режимам обработки; точности и требуемой шероховатости поверхности, обеспечиваемых данным станком. В результате выполнения работ на данном этапе проводится анализ чертежа детали на технологичность ее изготовления на станке с ЧПУ, разрабатывается укрупненный план обработки и уточняются условия поставки заготовки.

В результате выполнения II этапа — разработки маршрутной технологии изготовления детали на станке с ЧПУ — определяется операционная последовательность обработки и выбирается комплекс необходимого инструмента и оснастки. Предусматривается проведение расчетов параметров режущих инструментов, отражающих специфику обработки на выбранном станке с ЧПУ и определяющих содержание операций. Выбираются схемы базирования приспособления на столе станка и заготовки в приспособлении, проводится размерная увязка систем координат изготавливаемой детали с системой координат станка.

На этапе проектирования операционной технологии изготовления детали (III этап) должен быть разработан подробный план каждой операции с построением траекторий рабочих и вспомогательных перемещений, расчетом режимов резания, составлена расчетно-технологическая карта (РТК) изготовления детали на станке с ЧПУ.

Подсистема проведения математических расчетов (МР) включает следующие этапы работ.

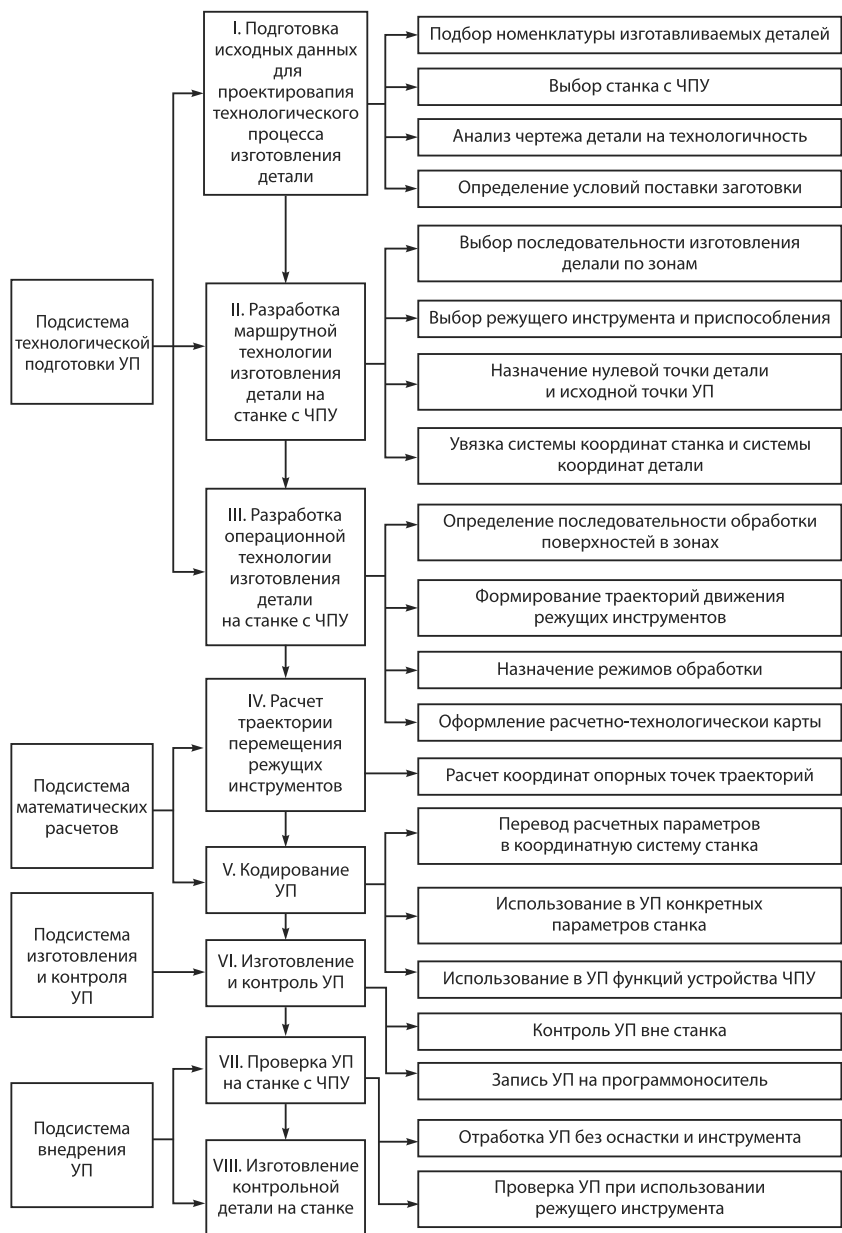


Рис. 5.2. Этапы и задачи, решаемые при подготовке УП в системе «чертеж–готовая деталь»

IV этап. Расчет траекторий перемещения режущих инструментов при проведении обработки на станке с ЧПУ.

V этап. Кодирование УП.

Этап расчетов траекторий движения (IV этап) включает расчет координат опорных точек эквидистант в процессе реализации линейной и круговой интерполяции с задаваемым шагом аппроксимации поверхностей в выбранной системе координат детали. Расчеты выполняются с точностью, определяемой дискретностью выбранной системы ЧПУ. Также проводятся расчеты величин перемещений на участках траекторий, расчет времени перемещений.

Этап кодирования УП (V этап) включает: перевод расчетных параметров в координатную систему станка; использование в УП его конкретных технических характеристик (пределов подач рабочих органов, скоростей вращения шпинделя, длин ходов исполнительных органов, допустимых значений ускорений и торможений, приемлемых перебегов при резком изменении направления движения органов станка и т.п.); использование в УП подготовительных и вспомогательных функций СЧПУ, функций коррекции на диаметр и вылет инструмента и т.д.

Результатом выполнения работ в подсистеме математических расчетов является получение управляющих программ на проблемно-ориентированном языке и в коде станка с ЧПУ, например в международном коде *ISO — 7* бит.

Подсистема изготовления и контроля управляющих программ (ИКП) включает:

VI этап. Контроль УП вне станка с ЧПУ и запись УП на программноноситель.

Перед внедрением управляющих программ с целью правильного изготовления по ним детали на станке с ЧПУ обязательно проводится графическая проверка рассчитанных траекторий. Проверка УП осуществляется визуально при использовании дисплеев, графопостроителей, координатографов с последующим цифровым определением координат опорных точек траекторий. Далее осуществляется изготовление программноносителя (перфолента, магнитная дискета и т.п.).

Подсистема внедрения УП (ВП) включает:

VII этап. Отработка УП на станке без установки инструмента, оснастки, заготовки.

VIII этап. Обработка контрольной детали.

Указанные работы проводятся в целях проверки правильности расчетов УП, проверки правильности применения технологических приемов, проверки правильности отработки УП рабочими органами станка.

5.2. МЕТОДЫ ПОДГОТОВКИ УП ДЛЯ СТАНКОВ С ЧПУ

Применяют следующие методы подготовки УП:

- 1) ручное программирование, выполняемое соответствующими специалистами (инженером-технологом, программистом и др.);
- 2) автоматизированное программирование, выполняемое при использовании системы автоматизированной подготовки УП для станков с ЧПУ (САП УП), построенной на основе применения ЭВМ;
- 3) оперативное, диалоговое программирование, когда подготовка УП производится непосредственно у станка с клавиатуры УЧПУ.

В общем случае независимо от принятого метода подготовки УП сопроводительная документация обычно включает: чертеж детали; карту наладки инструментов; расчетно-технологическую карту изготовления детали на станке с ЧПУ; управляющие программы обработки и их распечатки; графики траектории инструментов (при автоматизированном расчете УП) и акт проверки управляющих программ.

В карте наладке инструментов записываются координаты вершин инструментов, определяемые вне станка на специальных приборах.

Расчетно-технологическая карта содержит законченный план обработки детали на станке с ЧПУ в виде графического изображения траекторий движения используемых инструментов со всеми необходимыми пояснениями и расчетными размерами.

Ручное программирование. Ручная подготовка управляющих программ практически используется только при обработке простых деталей.

Подготовку исходных данных, маршрутной и операционной технологии (I, II, III этапы) проводит технолог, который разрабатывает план операций и карту наладки инструментов (рис. 5.3). Задачи математических расчетов (этап IV) выполняет программист в бюро математических расчетов (БМР) с использованием средств вычисления (калькуляторы). По предварительно разработанному плану операций программист составляет расчетно-технологическую карту, в которой указываются во временной последовательности все рабочие движения станка, а также дополнительная информация, например свойства обрабатываемого материала, размеры и положение инструмента, скорость резания и т.п. Используя таблицы кодирования, программист пишет текст УП для конкретного станка с ЧПУ (V этап).

Изготовление и контроль УП (VI этап) может проводиться в бюро электронных схем (БЭС) предприятия, где осуществляется запись программы на носитель и графическая проверка траекторий движения органов станка (см. рис. 5.3).

Если носителем информации для станка с ЧПУ является перфолента, то запись УП ведется на устройстве подготовки данных для

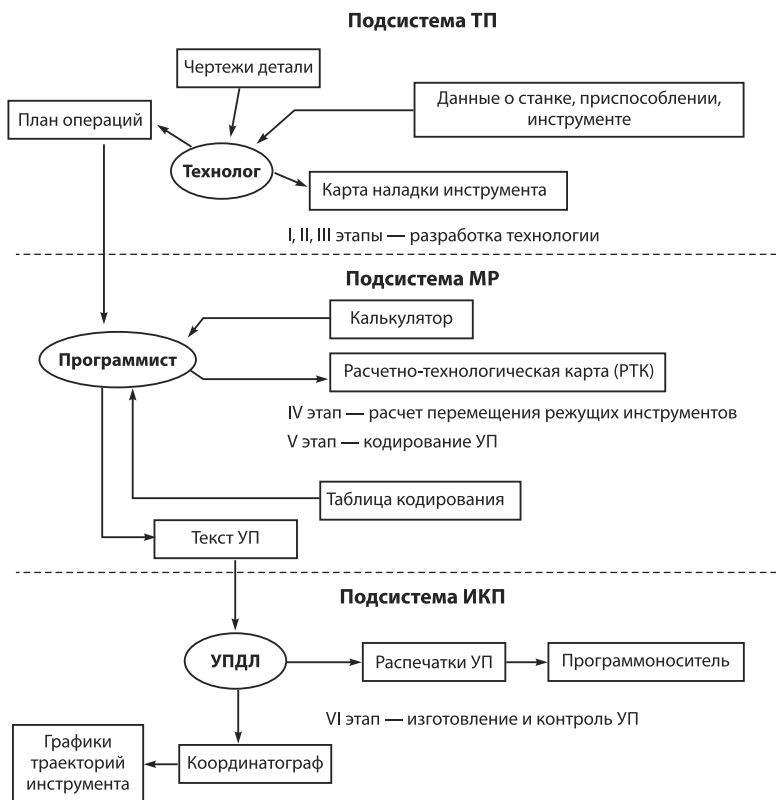


Рис. 5.3. Этапы ручной подготовки УП

перфоленты (УПДЛ). На этапе контроля, информация, считываемая с перфоленты, должна быть преобразована в импульсные или фазомодулированные сигналы в зависимости от типа УЧПУ. Выработываемые УЧПУ сигналы подаются на исполнительные механизмы координатографа — устройства графической проверки УП (см. рис. 5.3).

Автоматизированное программирование. При составлении УП число решаемых задач настолько велико, что ручное программирование часто невозможно. Управляющая программа для деталей средней сложности, а особенно для сложных деталей, может быть составлена только при использовании ЭВМ (рис. 5.4).

Автоматизация процессов программирования является основным средством сокращения затрат времени на разработку УП, обеспечивает не только снижение трудоемкости подготовки УП по сравнению с ручным способом, но и повышает их качество в связи с возмож-

ностью рассмотрения нескольких вариантов технологического процесса и выбора оптимального из них.

Использование автоматизированного программирования позволяет на одном рабочем месте рассчитывать опорные точки движения рабочих органов станка, рассчитывать и формировать УП изготовления детали в коде устройства ЧПУ, контролировать цифровую и графическую информацию в процессе ее формирования и получать распечатку бланков с пояснениями к выходной управляющей программе (см. рис. 5.4). Автоматизированную подготовку УП проводит на предприятии технолог-программист.

Результатом выполнения технологом-программистом задач технологической подготовки УП (I, II, III этапы) является разработка РТК изготовления детали на станке с ЧПУ. РТК содержит чертеж детали с указанием системы координат программируемой детали и выбранными траекториями обработки, а также перечень технологических данных о последовательности обработки, инструменте, припусках, режимах обработки и т.п.

Задачи, решаемые на IV, V, VI этапах, объединяют в общий автоматизированный этап преобразования информации, выполняемого

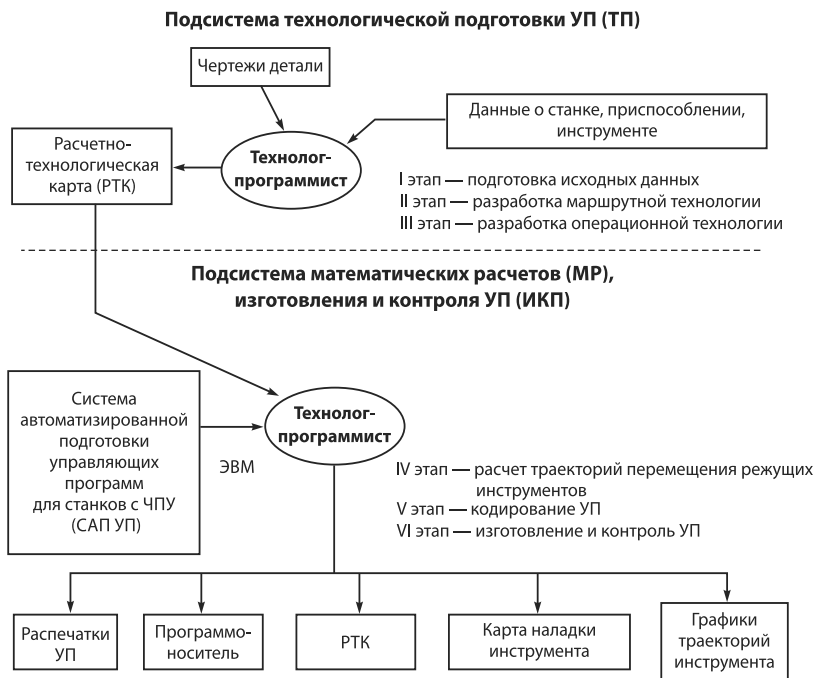


Рис. 5.4. Этапы автоматизированного программирования

ЭВМ. Применение ЭВМ для автоматизации программирования обработки на станках с ЧПУ требует разработки специального программно-математического обеспечения, а также проблемно-ориентированного языка для записи информации об изготавливаемой детали и ввода ее в ЭВМ. Это программно-математическое обеспечение называют системами автоматизированной технологической подготовки производства для станков с ЧПУ или *системами автоматизированной подготовки управляющих программ* (САП УП).

На рис. 5.5 показана структурная схема САП УП.

Комплект программ САП УП содержит транслятор, процессор и постпроцессоры. Указанные программы составляют программное обеспечение САП УП, которое находится на машинных носителях информации ЭВМ — магнитных дискетах, дисках. Для работы в системе автоматизированной подготовки УП это программное обеспечение заносится в оперативную память ЭВМ.

Входной язык САП УП включает правила задания текстов исходных программ для ЭВМ и является проблемно-ориентированным языком высокого уровня. Он дает возможность описать геометрическую и технологическую информацию о конкретной детали кратко и однозначно и близок к машинному языку и языку технолога.

Транслятор осуществляет перевод информации с входного проблемно-ориентированного языка САП УП на язык ЭВМ. Он выполняет: лексический контроль программы, выявляющий недопустимые слова; синтаксический анализ, распознающий тип предложений, структуру программы и синтаксические ошибки; семантический анализ, в ходе которого производится исследование каждого предложения и генерирование семантически эквивалентных предложений машинного языка; оптимизацию программы с целью сокращения



Рис. 5.5. Структурная схема САП УП

времени ее выполнения и понижения используемого объема памяти ЭВМ.

Процессор системы осуществляет геометрические вычисления без учета специфики станка, на котором будет обрабатываться деталь, а также особенностей его системы ЧПУ. Процессор обеспечивает общее решение задачи определения траектории движения инструмента в зависимости от формы обрабатываемой детали и инструмента. Результатом решения этой задачи являются данные о последовательном положении инструмента (*cutter-location data*) CLDATA.

По существу, CLDATA состоит из серий координат x , y , z для острия режущего инструмента в последовательных его положениях, когда формируются геометрические элементы обрабатываемой детали.

Расчеты, связанные со станком, осуществляются постпроцессором. *Постпроцессор* — комплект программ для перевода информации с машинного языка на язык конкретного станка с ЧПУ.

Постпроцессоры бывают либо специального назначения для какой-то особой комбинации «станок—система ЧПУ», либо разрабатываются в обобщенном виде для ряда станков.

Задачи, решаемые постпроцессором:

- считывание и сортировка данных CLDATA;
- выработка команд для осуществления подготовительных и вспомогательных функций;
- вычисление соответствующих движений рабочих органов станка с учетом его динамики;
- распечатка и запись на программоноситель.

Оперативное, диалоговое программирование. При обработке простых деталей предварительная подготовка УП может не выполняться. Программирование ведется непосредственно у станка с пульта УЧПУ по чертежу детали. Такой способ подготовки УП называется *оперативным программированием*.

Оперативное программирование осуществляется оператором с пульта системы управления станком в режиме ввода и редактирования управляющих программ.

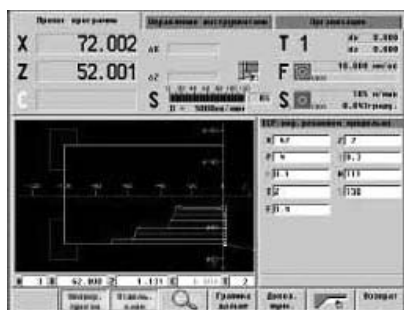
Информация УП вводится в УЧПУ в специальном семиразрядном буквенно-цифровом коде по ГОСТ 13032–77, соответствующем международному коду ISO–7 bit. УП вводится отдельными кадрами, состоящими из слов, которые задаются буквенными адресами с определенными числовыми значениями. Подробно кодирование УП рассмотрено в разделе 8.2.

Современные микропроцессорные УЧПУ позволяют осуществлять оперативное программирование в режиме диалога оператора с УЧПУ. При этом УП готовится с помощью специального графического редактора в режиме «меню». Данный способ задания УП назы-

вается *диалоговым программированием*. Такой диалог возможен при наличии в УЧПУ специального программного обеспечения и следующих технических средств: клавиатуры ввода на пульте УЧПУ (рис. 5.6, а); дисплея УЧПУ, работающего как в алфавитно-цифровом режиме, так и в режиме графического отображения (рис. 5.6, б, в); пульта управления станком (рис. 5.6, г).



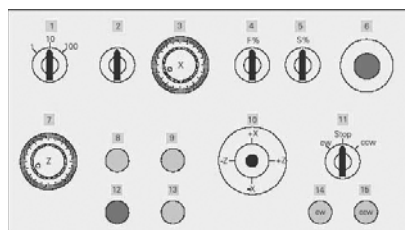
а)



б)



в)



г)

Рис. 5.6. Технические средства ведения диалогового программирования на станке с системой ЧПУ «HEIDENHAIN»:

а — клавиатура ввода данных; б — дисплей УЧПУ в режиме «алфавитно-цифровой клавиатуры»; в — дисплей УЧПУ в режиме «графической симуляции»; г — пульт управления станка

На экране дисплея УЧПУ высвечивается последовательность вопросов, на которые должен ответить оператор нажатием определенных буквенных или цифровых клавиш. Эти вопросы могут также задаваться в виде перечня («меню»), из которого надо выбрать желаемый вариант.

Оператор в процессе программирования выбирает требуемый по чертежу вариант из «меню» и вводит с пульта УЧПУ необходимые данные в предлагаемой последовательности. Введенные данные (графики, буквенно-цифровая информация) тут же высвечиваются на экране дисплея и, при необходимости, редактируются.

Разработка УП при использовании диалогового программирования не требует знания условных изображений и формата кадра. По данным, вводимым оператором, микроЭВМ сама формирует УП в виде, необходимом для работы УЧПУ.

Программирование обработки включает последовательные этапы: формирование геометрии обработанной детали; выбор режущих инструментов; определение режимов резания; определение схем наладки и обработки; моделирование процесса обработки. Управляющая программа в этом случае представляет собой упорядоченное множество геометрических объектов и технологических команд.

По геометрическим данным чертежа оператор, используя соответствующее «меню», производит построение контура обрабатываемой детали из различных геометрических элементов: точек, линий, окружностей и т.д., которые изображаются на экране графического дисплея в виде рисунка (рис. 5.7).

При необходимости на экран дисплея вызывается информация о режущем инструменте. Графически могут быть представлены схема инструмента, его данные, включая размеры, код, номер корректора, материал режущей части и др.

Из «меню» «Последовательность переходов» оператор выбирает необходимые для обработки технологические переходы, при формировании которых будут использоваться типовые циклы обработки, например цикл сверления (рис. 5.8), цикл чернового точения цилиндрической поверхности и т.п. В циклах задаются соответствующие параметры: припуски на черновую, чистовую обработку; глубина и ширина обработки; плоскость безопасности; направление подачи и т.п.

Режимы резания могут быть или назначены оператором, или получены автоматически по введенному коду материала детали и инструмента, виду обработки (черновая, чистовая), принятым циклом обработки. Программное обеспечение УЧПУ может определять оптимальные режимы (подачу, скорость резания, необходимые замедления) с учетом данных, характерных для станка.

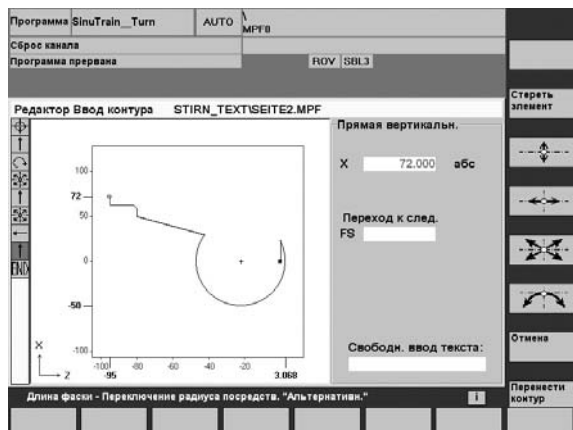


Рис. 5.7. Задание геометрических элементов контура обрабатываемой детали в УЧПУ «SINUMERIK»

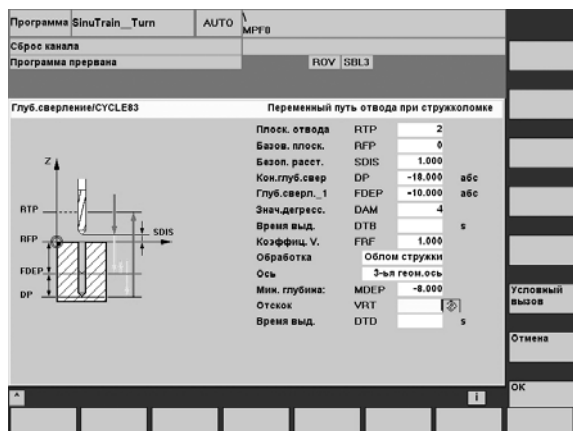
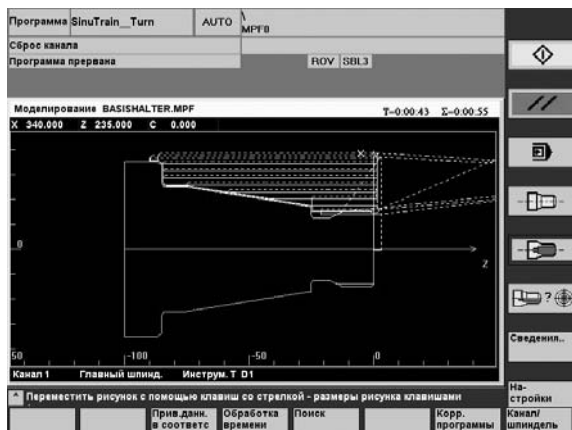
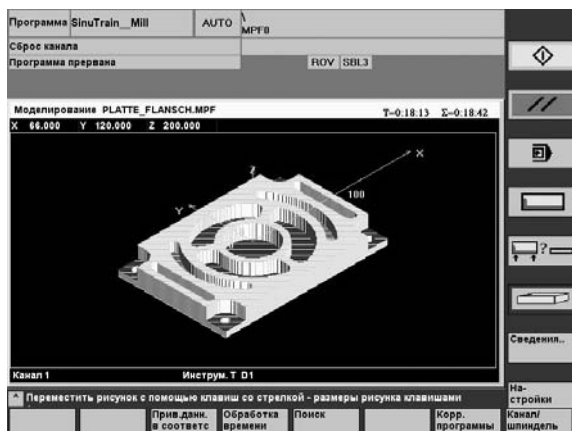


Рис. 5.8. Типовой цикл обработки (цикл сверления), используемый при диалоговом программировании на УЧПУ «SINUMERIK»

После определения всех параметров обработки УЧПУ автоматически рассчитывает управляющую программу работы станка, и с определенными комментариями ее можно увидеть на экране дисплея в соответствующем коде. По желанию оператора возможно графическое представление всего процесса обработки детали как в плоскостном (рис. 5.9, а), так и в объемном изображении (рис. 5.9, б). Такой вид информации на экран дисплея делает ее обзорной и легко понимаемой.



a)



б)

Рис. 5.9. Графическое представление процесса обработки, полученного диалоговым программированием:
 а — плоскостное изображение; б — объемное изображение

РАЗДЕЛ 6

ПОДГОТОВКА ИСХОДНЫХ ДАННЫХ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ НА СТАНКАХ С ЧПУ

В параграфе 5.1 подробно рассмотрены этапы и задачи, решаемые при подготовке УП, дано их содержание и характеристика.

Исходной документацией при выполнении I этапа (подготовка исходных данных для проектирования технологического процесса) являются чертеж детали и чертеж заготовки.

6.1. ПОДБОР НОМЕНКЛАТУРЫ ИЗГОТАВЛИВАЕМЫХ ДЕТАЛЕЙ

Наличие целесообразной номенклатуры изготавливаемых деталей является одним из главных условий достижения высоких технико-экономических показателей при внедрении и эксплуатации станков с ЧПУ.

При подборе деталей, изготавливаемых на станках с ЧПУ, исходят из следующих нормативно-технических показателей: типа заготовки и ее материала; габаритных размеров и сложности конфигурации (наличие криволинейных поверхностей); типа и числа обрабатываемых элементов на заготовке (отверстия, плоскости, криволинейные поверхности); наличия резьбы; способа крепления заготовки; требуемой точности детали; требуемой шероховатости обрабатываемых поверхностей; трудоемкости изготовления детали в целом; трудоемкости подготовки УП; годовой программы выпуска.

Широкие технологические возможности станков с ЧПУ изменяют обычные представления об обработке деталей, когда более технологичной считалась обработка деталей, внешние контуры которых ограничивались простыми поверхностями или их сочетанием. Для станков с ЧПУ, особенно фрезерных и многоцелевых, более эффективной является обработка сложных деталей. Рекомендуется обрабатывать: детали со сложной конфигурацией, контуры и элементы конструкции которых не параллельны координатным осям станка; детали, имеющие несколько криволинейных контуров, подсечек, карманов, колодцев, лежащих на одном или различных уровнях; объемные детали с поверхностями одинарной и двойной кривизны; сравнительно простые детали, входящие в кинематические цепи и стыкующиеся с деталями, подлежащими обработке на станках с ЧПУ, так как при этом происходит ликвидация пригоночных работ

при сборке деталей; детали, изготавливаемые из профиля; детали, изготавливаемые сравнительно большой серией.

6.2. ВЫБОР СТАНКА С ЧПУ ДЛЯ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛИ

При выборе станка с ЧПУ, на котором в дальнейшем будет производиться обработка детали, рассматривается: соответствие системы ЧПУ и количества управляемых координат станка, необходимых для обработки; соответствие размеров рабочей зоны станка габаритным размерам детали; соответствие мощности, жесткости и технических характеристик станка наивыгоднейшим режимам обработки детали; соответствие точности и требуемой шероховатости поверхности, обеспечиваемой станком.

Для определения количества управляемых координат станка, необходимых при обработке, предварительно проводят анализ чертежа детали.

Анализ чертежа детали включает:

- 1) выделение зон детали, подлежащих обработке;
- 2) рассмотрение поверхностей в зонах;
- 3) анализ количества возможных управляемых координат при формировании каждой поверхности в зонах.

6.2.1. Зоны обработки детали

Зоны обработки детали определяются формой поверхностей, из которых образован контур детали, и параметрами режущего инструмента, участвующего в обработке. Для токарной и фрезерной обработки контур детали определяется сочетанием основных и дополнительных зон обработки.

Зоны токарной обработки. *Основные зоны* — зоны наружных и внутренних поверхностей с радиусами и криволинейными образующими, обрабатываемые проходными и расточными резцами с главным углом в плане $\varphi = 95^\circ$ и вспомогательным углом в плане $\varphi' = 30^\circ$; зоны торцовых поверхностей; зоны неглубоких канавок (до 1,5 мм), например канавок для выхода шлифовального круга. На рис. 6.1, а основные зоны: 1–5, 9, 11, 13, 14, 16, 17.

Дополнительные зоны — это зоны поверхностей, которые требуют для их образования другого инструмента; к ним относят зоны торцовых и угловых канавок для выхода шлифовального круга, зоны прямоугольных канавок на наружной, внутренней и торцовой поверхностях, зоны резьбовых поверхностей и желобов под ремни. На рис. 6.1, а дополнительные зоны: 6–8, 10, 12, 15, 18, 19. Наиболее часто встречающиеся дополнительные зоны токарной обработки показаны на рис. 6.2.

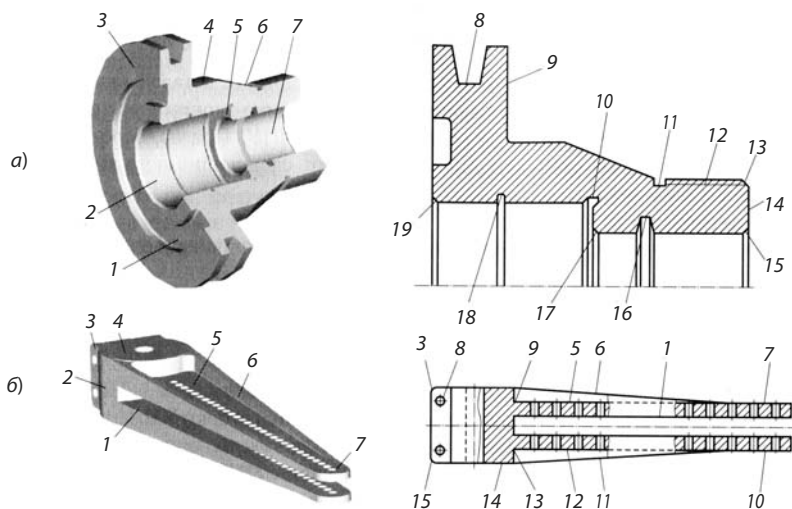


Рис. 6.1. Основные и дополнительные зоны обработки:
 а — зоны токарной обработки; б — зоны фрезерной обработки

Зоны фрезерной обработки. *Основные зоны* — это зоны наружных и внутренних контуров детали (зоны плоскостей, карманов, окон, колодцев), зоны ребер, уступов, подсечек, наклонных поверхностей, отверстий, формируемые диаметром $D_{\text{фрез}}$ или ее боковой режущей частью. На рис 6.1, б зоны 1, 2, 4–8, 10–12, 14, 15 являются основными зонами.

Дополнительные зоны — это зоны сопрягающих поверхностей с постоянными и переменными радиусами сопряжения, которые формируются радиусами заточки фрез r . На рис 6.1, б зоны 3, 9, 13 являются дополнительными.

В зависимости от конфигурации участка черного или чистового контура детали зоны обработки также делятся на открытые, полуоткрытые, закрытые и комбинированные (рис. 6.3).

Для **токарной обработки открытая зона** формируется при снятии припуска с цилиндрической, а в некоторых случаях — с конической поверхности. При выборе резца для этой зоны не накладывают ограничений на главный ϕ и вспомогательный ϕ' углы в плане.

Полуоткрытая зона является более типичной, ее конфигурация определяется главным углом ϕ в плане.

Закрытые зоны встречаются при обработке дополнительных поверхностей, которые накладывают ограничения на углы ϕ и ϕ' .

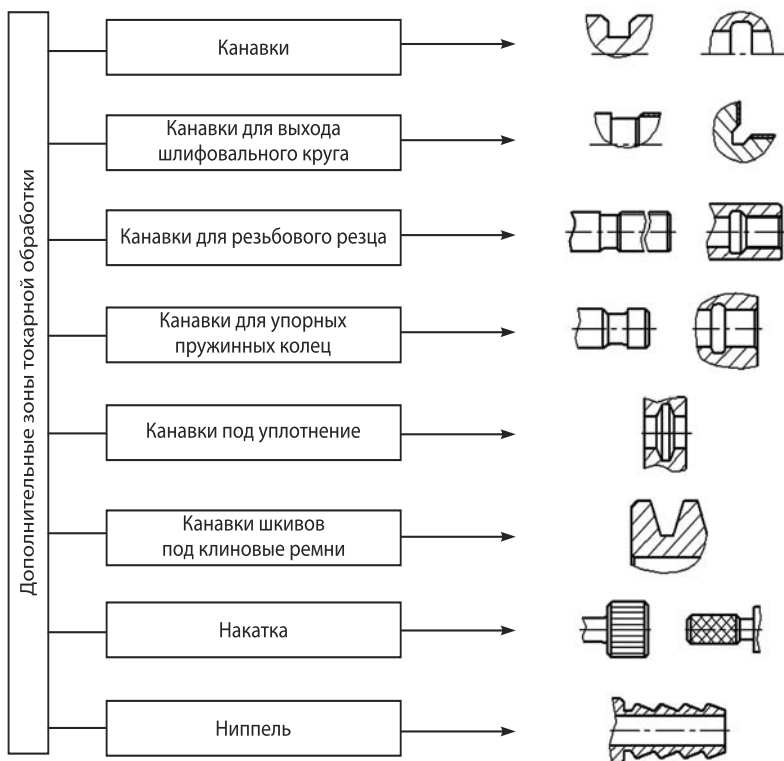


Рис. 6.2. Примеры дополнительных зон токарной обработки

Комбинированная зона представляет собой объединение двух или трех описанных выше зон.

Для фрезерной обработки открытая зона — область обработки, где нет ограничений на перемещение инструмента вдоль его оси или в плоскости, перпендикулярной этой оси (зоны плоскостей, ребер).

Полуоткрытая зона — зона обработки, где перемещение инструмента ограничено как вдоль оси, так и в плоскости, ей перпендикулярной (зоны уступов, подсечек).

Закрытые зоны — это область обработки, где перемещение инструмента ограничено по всем направлениям (зоны пазов, карманов, колодцев).

Комбинированная зона — зона, которая формируется в результате объединения нескольких областей различных типов.

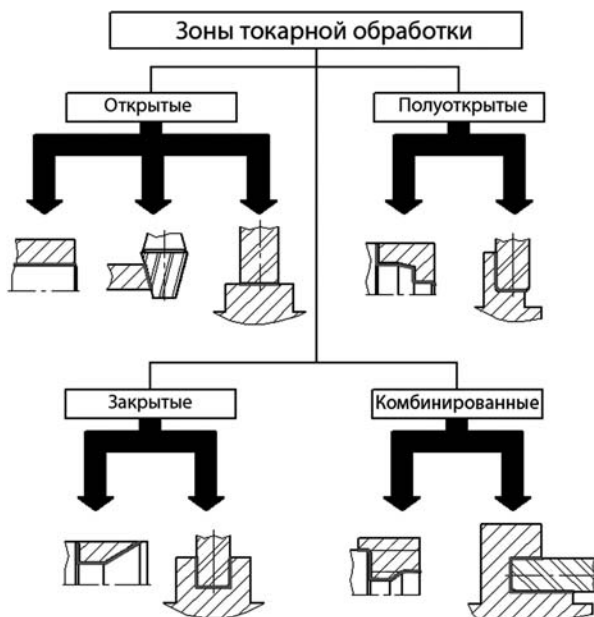


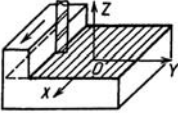
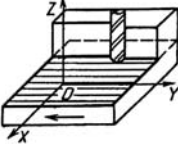
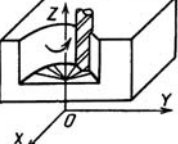
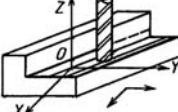
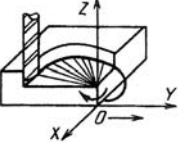

Рис. 6.3. Зоны токарной и фрезерной обработки

6.2.2. Формирование поверхностей в зонах обработки на станках с ЧПУ

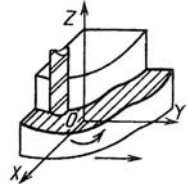
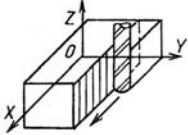
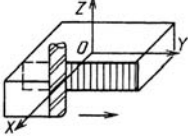
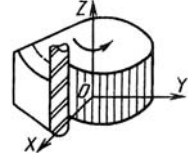
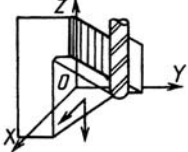
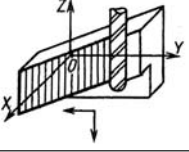
Так как одна и та же поверхность может быть получена различным сочетанием управляемых координат в станках с ЧПУ, то необходимо выбрать координаты, соответствующие техническим характеристикам предлагаемого конкретного станка с ЧПУ. В табл. 6.1 показаны поверхности, получаемые фрезерованием при различном сочетании управляемых линейных координат X , Y , Z и круговой координаты C . Например, обработка вертикальной плоскости (см. первый типовой процесс) может производиться: движением по управляемой линейной координате X или линейной координате Y ; круговым движением вокруг координаты Z ; одновременным согласованным движением по двум координатам $X-Y$ линейной интерполяцией; одновременным согласованным движением по двум координатам $X \sim Y$ круговой интерполяцией и т.п. Поверхности, получаемые возможными сочетаниями управляемых координат станка с ЧПУ, представлены в табл. 6.1 в виде четырех групп, что облегчает проведение анализа детали.

Таблица 6.1

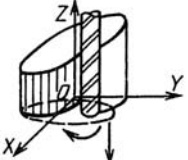
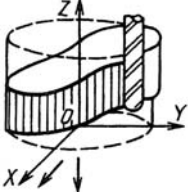
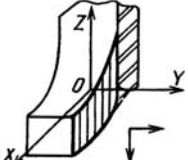
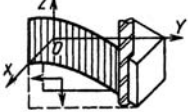
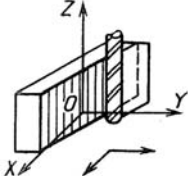
Типовые процессы обработки поверхностей фрезерованием

№ под- группы	Описание направляющей	Описание поверхности с образующей, парал- лельной координатной плоскости XOY	Эскиз поверхности	Количе- ство, состав и зависи- мость дви- жений
<i>Типовой процесс торцового фрезерования плоскостей, параллельных координатной плоскости XOY</i>				
1	Прямая, парал- лельная оси коор- динат OX	Плоскость, параллель- ная координатной плоскости XOY (гори- зонтальная плоскость)		\bar{X}
	Прямая, парал- лельная оси коор- динат OY	Плоскость, параллель- ная координатной плоскости XOY (гори- зонтальная плоскость)		\bar{Y}
	Окружность (дуга окружности) в плоскости, парал- лельной координ- натной плоскости XOY	Плоскость, параллель- ная координатной плоскости XOY (гори- зонтальная плоскость)		\dot{Z}
2	Прямая в плос- кости, параллель- ной координат- ной плоскости XOY	Плоскость, параллель- ная координатной плоскости XOY (гори- зонтальная плоскость)		$\bar{X} - \bar{Y}$
	Архимедова спи- раль в координат- ной плоскости XOY	Плоскость, параллель- ная координатной плоскости XOY (гори- зонтальная плоскость)		$\dot{Z} - \bar{X}$ или $\dot{Z} - \bar{Y}$
3	Кривая в плос- кости, параллель- ной координат- ной плоскости XOY	Плоскость, параллель- ная координатной плоскости XOY (гори- зонтальная плоскость)		$\bar{X} \sim \bar{Y}$

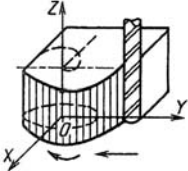
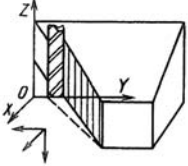
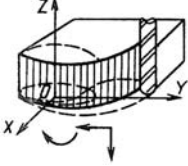
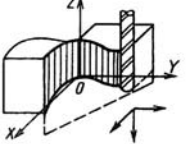
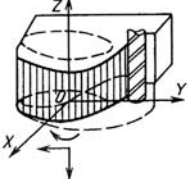
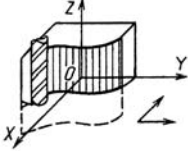
Продолжение табл. 6.1

№ под- группы	Описание направляющей	Описание поверхности с образующей, парал- лельной координатной плоскости XOY	Эскиз поверхности	Количе- ство, состав и зависи- мость дви- жений
3	Кривая в плос- кости, параллель- ной координат- ной плоскости XOY	Плоскость, параллель- ная координатной плоскости XOY (гори- зонтальная плоскость)		$\dot{Z} \sim \bar{X}$ или $\dot{Z} \sim \bar{Y}$
<i>Типовой процесс цилиндрического фрезерования плоскостей, параллельных координат- ным плоскостям XOZ, YOZ, и прямых круговых цилиндрических поверхностях с осью вращения, параллельной оси координат OY</i>				
4	Прямая, парал- лельная оси коор- динат OX	Плоскость, параллель- ная координатной плоскости XOZ (верти- кальная плоскость)		\bar{X}
	Прямая, парал- лельная оси коор- динат OY	Плоскость, параллель- ная координатной плоскости YOZ (верти- кальная плоскость)		\bar{Y}
	Окружность (дуга окружности) в плоскости, парал- лельной коорди- натной плоскости XOY	Плоскость, параллель- ная координатной плоскости XOY (верти- кальная плоскость)		\dot{Z}
5	Прямая в плос- кости, параллель- ной координат- ной плоскости XOZ	Плоскость, параллель- ная координатной плоскости XOZ (верти- кальная плоскость)		$\bar{X} - \bar{Z}$
	Прямая в плос- кости, параллель- ной координат- ной плоскости YOZ	Плоскость, параллель- ная координатной плоскости YOZ (верти- кальная плоскость)		$\bar{Y} - \bar{Z}$

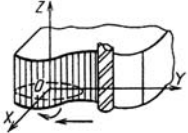
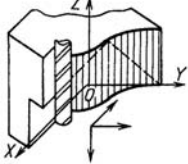
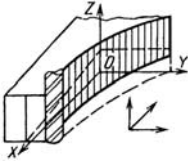
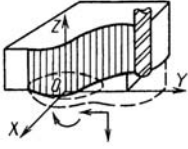
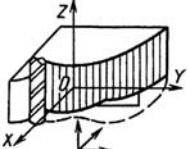
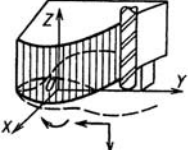
Продолжение табл. 6.1

№ под- группы	Описание направляющей	Описание поверхности с образующей, парал- лельной координатной плоскости XOY	Эскиз поверхности	Количе- ство, состав и зависи- мость дви- жений
5	Винтовая линия на прямой круго- вой цилиндричес- кой поверхности	Прямая круговая ци- линдрическая поверх- ность		$\dot{Z} - \bar{Z}$
6	Кривая в плос- кости, параллель- ной координат- ной плоскости XOZ	Плоскость, параллель- ная координатной плоскости XOZ (верти- кальная плоскость)		$\bar{X} - \bar{Z}$
	Кривая в плос- кости, параллель- ной координат- ной плоскости YOZ	Плоскость, параллель- ная координатной плоскости YOZ (верти- кальная плоскость)		$\bar{Y} - \bar{Z}$
	Кривая на прямой цилиндрической поверхности	Прямая круговая ци- линдрическая поверх- ность		$\dot{Z} - \bar{Z}$
	<i>Типовой процесс цилиндрического фрезерования плоскостей, перпендикулярных координатной плоскости XOY, и цилиндрических поверхностей с направляющей «архимедова спираль»</i>			
7	Прямая в плос- кости, параллель- ной координат- ной плоскости XOY	Плоскость, перпенди- кулярная координат- ной плоскости XOY		$\bar{X} - \bar{Y}$

Продолжение табл. 6.1

№ под- группы	Описание направляющей	Описание поверхности с образующей, параллельной координатной плоскости XOY	Эскиз поверхности	Количество, состав и зависимость движений
7	Архимедова спираль в плоскости, параллельной координатной плоскости XOY	Архимедова цилиндрическая поверхность		$\dot{Z} - \bar{X}$ или $\dot{Z} - \bar{Y}$
8	Прямая в плоскости, перпендикулярной координатной плоскости XOY	Плоскость, перпендикулярная координатной плоскости XOY		$\bar{X} - \bar{Y} - \bar{Z}$
	Винтовая линия на архимедовой цилиндрической поверхности	Архимедова цилиндрическая поверхность		$\dot{Z} - \bar{X} - \bar{Z}$ или $\dot{Z} - \bar{Y} - \bar{Z}$
	Кривая линия в плоскости, перпендикулярной координатной плоскости XOY	Плоскость, перпендикулярная координатной плоскости XOY		$\bar{X} - \bar{Y} \sim \bar{Z}$
9	Кривая на архимедовой цилиндрической поверхности	Архимедова, цилиндрическая поверхность		$\bar{X} - \dot{Z} \sim \bar{Z}$ или $\bar{Y} - \bar{Z} \sim \bar{Z}$
<i>Типовой процесс цилиндрического фрезерования цилиндрических поверхностей</i>				
10	Кривая в плоскости, параллельной координатной плоскости XOY	Прямая цилиндрическая поверхность		$\bar{X} \sim \bar{Y}$

Окончание табл. 6.1

№ под- группы	Описание направляющей	Описание поверхности с образующей, парал- лельной координатной плоскости XOY	Эскиз поверхности	Количе- ство, состав и зависи- мость дви- жений
10	Кривая в плос- кости, параллель- ной координат- ной плоскости XOY	Прямая цилиндричес- кая поверхность		$\dot{Z} \sim \bar{X}$ или $\dot{Z} \sim \bar{Y}$
11	Кривая в наклон- ной плоскости к координатной плоскости XOZ	Прямая цилиндричес- кая поверхность		$\bar{Y} - \bar{Z} \sim \bar{X}$
	Кривая в наклон- ной плоскости к координатной плоскости YOZ	Прямая цилиндричес- кая поверхность		$\bar{X} - \bar{Z} \sim \bar{Y}$
12	Винтовая линия с постоянным шагом на цилинд- рической поверх- ности	Прямая цилиндричес- кая поверхность		$\bar{Z} - \dot{Z} \sim \bar{X}$ или $\bar{Z} - \dot{Z} \sim \bar{Y}$
	Кривая линия в пространстве	Прямая цилиндричес- кая поверхность		$\bar{X} \sim \bar{Y} \sim \bar{Z}$
12	Кривая линия в пространстве	Прямая цилиндричес- кая поверхность		$\dot{Z} \sim \bar{X} \sim \bar{Z}$ или $\dot{Z} \sim \bar{Y} \sim \bar{Z}$

6.2.3. Нулевые, исходные и фиксированные точки станка с ЧПУ

В паспорте выбранного станка с ЧПУ указываются координаты, которые закреплены за конкретным рабочим органом станка, показаны направления координатных осей, начало отсчета по каждой оси и пределы возможных перемещений. Понятие системы координат станка приведено в разделе 2. Для точного и правильного перемещения рабочих органов станка при обработке УП на станках с ЧПУ задаются нулевые, исходные и фиксированные точки. В ГОСТ 20523–80 даны понятия нулевой, исходной и фиксированной точек станка с ЧПУ.

Фиксированная точка станка $N(F)$ — точка, определенная относительно нулевой точки станка и используемая для определения положения рабочего органа станка.

Нулевая точка станка M — точка, принятая за начало системы координат станка.

Исходная точка станка R — точка, определенная относительно нулевой точки станка и используемая для начала работы по УП.

В указанном стандарте приведены также понятия точки начала обработки, нулевой точки детали, исходной точки инструмента.

Точка начала обработки или исходная точка программы P_s — точка, определяющая начало обработки конкретной заготовки.

Нулевая точка детали W — точка детали, относительно которой заданы ее размеры.

Исходная точка инструмента E — точка, полученная при совмещении точки установки инструмента с фиксированной точкой станка N .

Для указания этих точек в технологической документации в основном используются обозначения, приведенные в табл. 6.2.

На рис. 6.4 показано расположение нулевых, исходных и фиксированных точек на токарном и фрезерном станках с ЧПУ.

Определение положения нулевой точки детали W дано в п. 7.1.5, исходной точки инструмента E и фиксированной точки установки инструмента B — в п. 7.1.3, исходной точки программы P_s — в п. 7.1.6.

Фиксированные точки станка с ЧПУ (N, F). Выбираются с учетом конструктивных особенностей отдельных узлов станка и могут быть материально выражены, например, базовым отверстием в центре стола станка. Фиксированные точки позволяют определить предельные перемещения, начальные и текущие положения рабочих органов станка в процессе изготовления детали по управляющей программе в системе координат станка. Для шпиндельных узлов (рис. 6.4, *a*) фиксированной точкой N является точка пересечения торца шпинделя с осью его вращения; для суппорта токарно-револьверного

Таблица 6.2

Условные обозначения

Условное обозначение	Буквенное обозначение	Название	Пример
	<i>M</i>	Нулевая точка станка	
	<i>R</i>	Исходная точка станка	
	<i>W</i>	Нулевая точка детали	
	<i>E</i>	Исходная точка инструмента	
	<i>N</i>	Фиксированная точка шпинделя в позиции инструмента	
	<i>F</i>	Фиксированная точка стола в центре базового отверстия	
	<i>B</i>	Фиксированная точка установки инструмента	
	<i>Ps</i>	Точка начала обработки конкретной заготовки (исходная точка программы)	

станка — центр поворота резцедержателя в плоскости, параллельной направляющим суппорта и проходящей через ось вращения шпинделя, или точка базирования инструментального блока (державки). Для крестового стола фрезерного станка (рис. 6.4, б) фиксированной точкой *F* является точка пересечения его диагоналей; для поворотного стола — центр поворота зеркала стола.

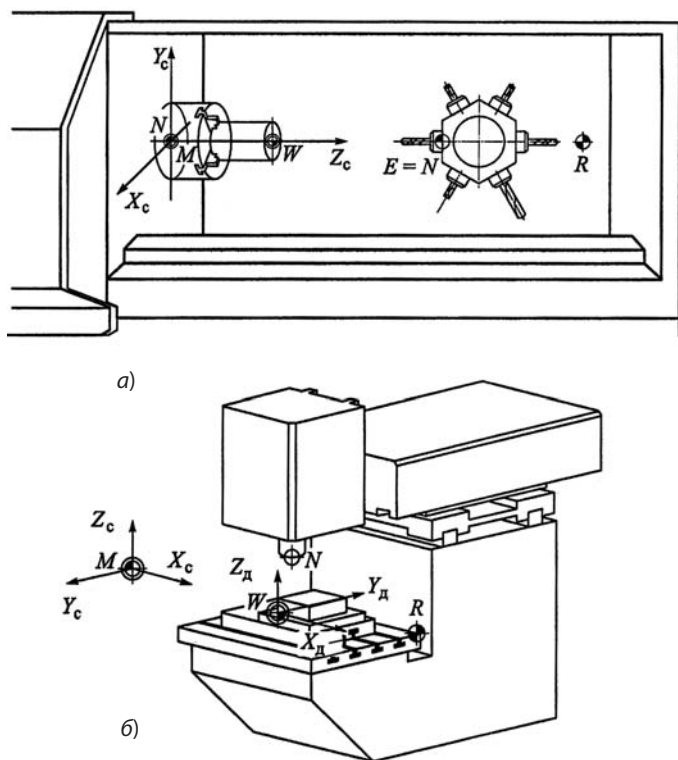


Рис. 6.4. Нулевые, исходные и фиксированные точки:
 а — на токарном станке с ЧПУ; б — на фрезерном станке с ЧПУ

Нулевая точка станка с ЧПУ (M). Точка, принятая за начало отсчета системы координат станка, называется нулевой точкой станка или нулем станка M . Положение точки M на станке задается производителем и для различных станков с ЧПУ, в зависимости от их типа и модели, может быть разным. Нулевая точка станка может располагаться, например, в фиксированной точке стола фрезерного станка F (см. рис. 6.5, а). При таком расположении системы координат станка перемещения стола по осям X и Y будут иметь как положительные, так и отрицательные значения, что не совсем удобно при программировании. Для того чтобы отсчет перемещений узлов по осям X и Y всегда был положительным, нуль станка M размещают в одном из углов рабочей зоны станка (рис. 6.5, б). Рабочая зона для фрезерного станка — параллелепипед, образованный линиями возможного смещения точки F по осям X и Y , который определяет границы обработки при программировании перемещений. Для токарных станков

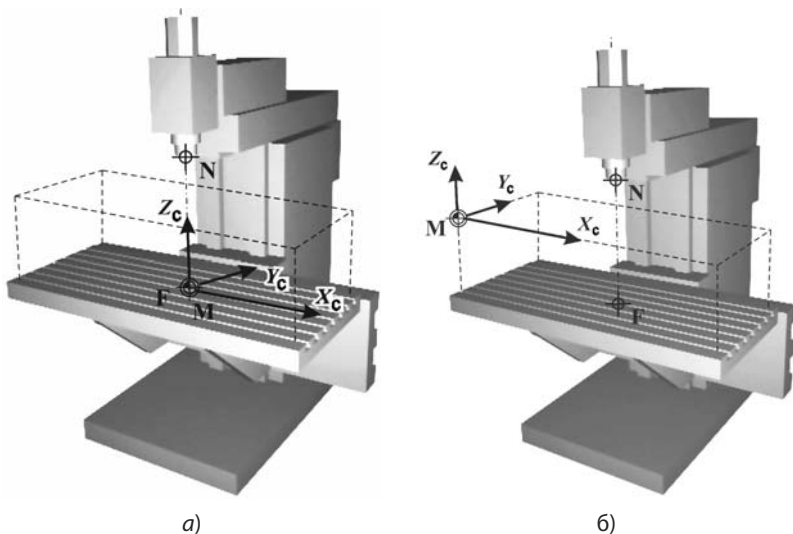


Рис. 6.5. Позиция нулевой точки M на фрезерном станке:
 а — начало системы координат расположено в фиксированной точке стола станка F (центре базового отверстия); б — начало системы координат станка расположено в углу рабочей зоны

с ЧПУ нулевая точка станка M располагается всегда в фиксированной точке N на оси торца шпинделя (см. рис. 6.4, а).

Таким образом, если на станке обрабатывать деталь с использованием абсолютного отсчета, то все ее координаты должны быть определены относительно нулевой точки M станка. Движение рабочих органов задаются в УП в этом случае в системе координат станка. Рабочие органы станка можно переместить в нулевую точку либо соответствующей командой, заданной в УП, либо при нажатии соответствующей кнопки с пульта станка.

Исходная точка станка (R). Положение исходной точки станка R задается производителем станка с ЧПУ (рис. 6.6). Исходная точка станка R используется для контроля над перемещением исполнительных органов станка при отсчете перемещений в приращениях (в относительной системе координат). Координаты точки R имеют постоянное значение относительно точки M , при этом положение R по каждой оси координат фиксируется датчиками следящих приводов и учитывается УП. Точку R выбирают на станке исходя из условий минимальных значений вспомогательных ходов, обеспечения удобства и безопасности смены инструмента, а также удобства закрепления заготовки на станке (см. рис. 6.6).

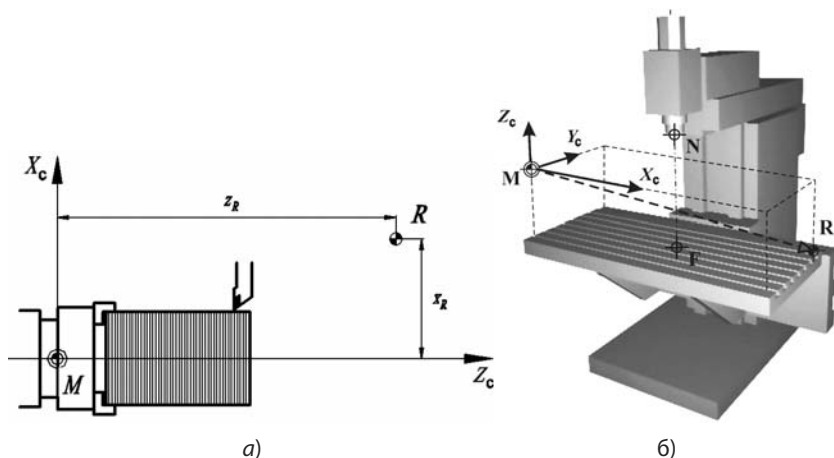


Рис. 6.6. Положение исходной точки станка R :
 a — на токарном станке; b — на фрезерном станке

6.3. АНАЛИЗ ЧЕРТЕЖЕЙ ДЕТАЛЕЙ НА ТЕХНОЛОГИЧНОСТЬ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ НА СТАНКАХ С ЧПУ

Опыт эксплуатации станков позволяет сформулировать основные требования к конструкции деталей, обеспечивающие высокую технологичность при обработке их на станках с ЧПУ. Эти требования должны быть либо учтены конструкторами на этапе создания чертежа изделий, либо могут быть согласованы при проектировании технологического процесса обработки.

Выполнение требований к повышению технологичности позволяет:

- сократить типоразмеры применяемого режущего инструмента (сокращение количества операций);
- применить более производительный (экономически выгодного) инструмента;
- применить стандартный инструмент;
- уменьшить количество переустановов детали и количество и стоимость приспособлений;
- повысить точность базирования, понизить степень коробления детали при обработке;
- повысить точность и производительность обработки;
- снизить объем последующей слесарной (станочной) ручной доработки;
- сократить затраты на расчет и подготовку УП.

Требования к конструкторско-технологической подготовке чертежей изготавливаемых деталей включают:

6.3.1. Требования обеспечения базирования

При обработке на станках с ЧПУ появляются некоторые дополнительные требования обеспечения базирования детали на столе станка. При обработке детали необходима точная ориентация ее относительно координатных осей станка с ЧПУ и исходной точки УП. Поэтому при проектировании необходимо обеспечить возможность точного базирования детали на столе станка. Наиболее точное базирование достигается при применении двух базовых отверстий (Б.О.), выполненных с заданной точностью по диаметру в параллельно расположенных плоскостях.

Необходимо стремиться, чтобы Б.О. совмещались с конструктивными отверстиями или проемами облегчения. В симметричной детали, подлежащей двухсторонней обработке, хотя бы одно Б.О. должно совмещаться с осью симметрии для обеспечения обработки с двух сторон по одной УП.

Диаметр Б.О., размещаемых в детали, должен назначаться в соответствии с типовой оснасткой и из конструктивных условий и должен быть принят в зависимости от габаритов детали и условий сохранения прочности сечения по табл. 6.3.

Таблица 6.3

Размер базовых отверстий в зависимости от габарита детали

Наибольший размер детали, мм	Наименьший диаметр Б.О., мм
До 100	Более 4
От 100 до 200	Более 6
От 200 до 600	Более 10
Свыше 600	Более 18

6.3.2. Требования к унификации радиусов сопряжения элементов деталей

При проектировании деталей, предназначенных для обработки на станке с ЧПУ, необходимо учитывать некоторые требования по унификации радиусов сопряжения элементов детали. Это имеет большое значение для сокращения типоразмеров применяемого при обработке детали режущего инструмента (рис. 6.7).

Сопряжение наружных и внутренних поверхностей обрабатываемых контуров (ячеек) деталей в плане следует производить максимально возможным для данного контура радиусом сопряжения в плане R (рис. 6.7, *a*). При этом следует учитывать соотношения между радиусом сопряжения R и высотой полки ребра H обрабатываемого контура, обеспечивающие необходимую жесткость режущего инструмента и имеющие для различных материалов следующие величины:

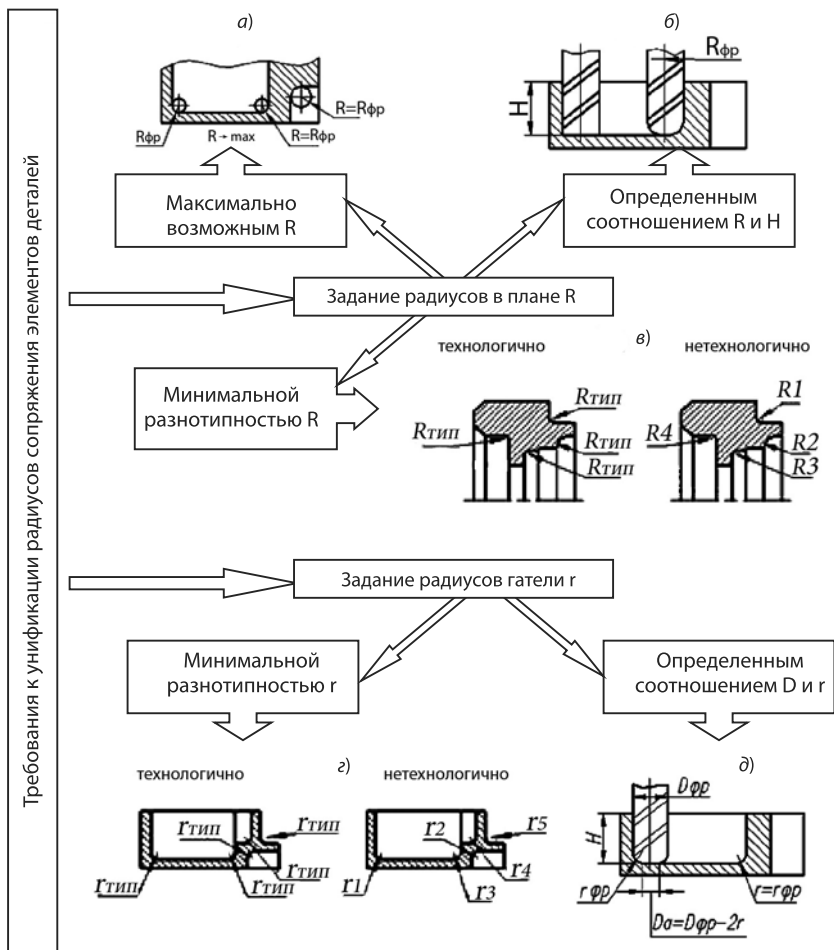


Рис. 6.7. Требования к унификации радиусов сопряжений элементов деталей

для деталей легких сплавов $R \geq (\frac{1}{5} - \frac{1}{6}) H$;
 для деталей из конструкционной стали $R \geq \frac{1}{3} H$;
 для деталей из титановых, жаропрочных и нержавеющей сплавов $R \geq H$ (рис. 6.7, б).

Радиус сопряжения в плане R следует выбирать из следующего ряда, который составляется на основе нормативно-технической документации, устанавливающей параметры концевых фрез.

R_{\min} : 5; 6; 8; 10; 12; 15; 20; 25; 30; 40.

Сопряжение наружных и внутренних поверхностей следует задавать с минимальной разнотипностью радиусов в плане R (рис. 6.7, в).

Сопряжение стенок (полотна) с полками, ребрами и формирование радиусов подсечек (утолщений по стенкам, ребрам, полотну) необходимо производить единым для данного контура радиусом галтели r (рис. 6.7, *з*).

Радиус галтели r следует принимать *наименьшим* из приводимого ниже ряда предпочтительных размеров.

$$r_{\min}: 0,5; 1; 1,5; 2; 3.$$

При назначении радиуса сопряжения R и радиуса галтели r должно выполняться соотношение между R и r , обеспечивающее наличие на торце инструмента (конца фрезы) максимально возможное активное диаметра $D_a = 2(R - r)$ (рис. 6.7, *д*).

В случае $R = r$ требуется применение концевых фрез со сферической формой торца.

6.3.3. Требование к конструкции сопрягаемых элементов детали

При проектировании деталей, получаемых давлением, необходимо предусматривать обработку по всем поверхностям, избегая в конструкции детали штамповочных уклонов и односторонней обработки поверхности (рис. 6.8, *а*).

Необходимо задавать рациональную геометрическую форму детали, обеспечивающую возможность минимального числа чистовых переходов, обработку одним инструментом, а также удобство при базировании и креплении заготовки (рис. 6.8, *б*).

При сопряжении ребра с ребром, полкой или другими элементами детали, образующими наклонную плоскость, необходимо в месте сопряжения предусмотреть площадку для прохода инструмента (рис. 6.8, *в*).

При наличии на полотне, стенке или полке детали бонок, бобышек и других выступающих элементов необходимо предусмотреть проход торца инструмента путем выбора расстояния $a > 2R$ при изменении конструкции элемента (рис. 6.8, *г*).

Особое внимание следует уделять унификации однотипных элементов конструкции детали: колодцев, карманов, подсечек, полок, проемов обеспечения и т.п.

При проектировании детали наиболее полно должна быть отражена симметрия относительно вертикальной и горизонтальной осей симметрии, а также местная симметрия отдельных элементов детали, что дает сокращение трудоемкости программирования в 2–4 раза за счет неоднократного использования УП и ее составных частей (рис. 6.9, *а*).

Ребра усиления следует выполнять, по возможности, параллельными осям детали (рис. 6.9, *б*).

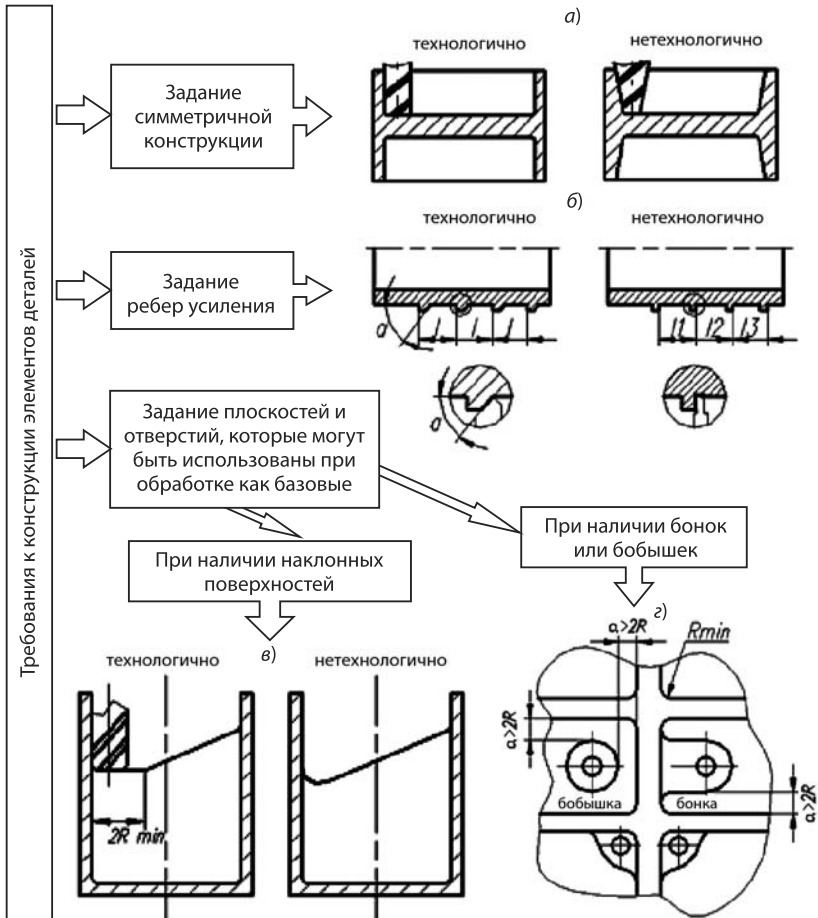


Рис. 6.8. Требования к конструкции сопрягаемых элементов

Конструкция детали должна обеспечить ее обработку с наименьшим количеством переустановок на станке. Наиболее технологичной является деталь с базовой плоскостью и двумя базовыми отверстиями (рис. 6.9, в). Менее технологичной является двусторонняя симметричная конструкция. Вследствие симметричности относительно оси деталь обрабатывается с двух сторон по одной и той же УП одним инструментом (рис. 6.9, з). Наименее технологичной является двусторонняя несимметричная конструкция детали (рис. 6.9, д).

С целью обеспечения полной обработки наклонной поверхности нормализованным инструментом необходимо предусматривать воз-

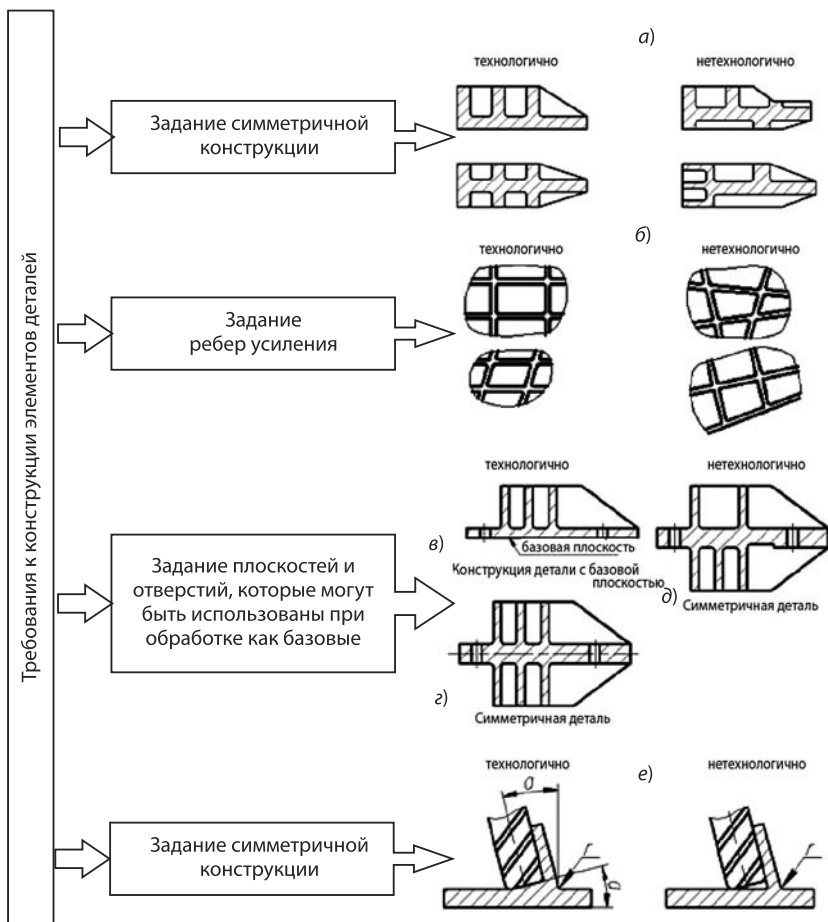


Рис. 6.9. Требования к конструкции элементов деталей

возможность образования площадки, нормальной к оси инструмента (рис. 6.9, е).

6.4. СОГЛАСОВАНИЕ УСЛОВИЙ ПОСТАВКИ ЗАГОТОВКИ

Важнейшим при подготовке исходных данных для проектирования технологического процесса является согласование условий поставки заготовки или условий поставки детали. Целью этапа является определения состояния заготовки, ее базы, всех видов предварительной обработки перед установкой заготовки на станке с ЧПУ.

Определяются также состояние детали после снятия ее со станка и объем требуемой слесарной доработки.

Основным содержанием технических условий на поставку заготовки является требование к базовым поверхностям. На рис. 6.10 приведены примеры заготовок с базовыми поверхностями, подготовленными для обработки на станках с ЧПУ. Подготовка чистых баз деталей, обрабатываемых на станках с ЧПУ, в ряде случаев выполняется на универсальных станках. Для токарной обработки это подрезка торцов и центрование деталей (рис. 6.10, *в*), проточка базовых шеек (рис. 6.10, *а*); для фрезерования и других видов обработки — фрезерование базовой плоскости и обработка базовых отверстий (рис. 6.10, *б*, *д*). В ряде случаев одновременно с обработкой баз рекомендуется определенная черновая обработка по простому контуру, при которой удаляется часть припуска (рис. 6.10, *з*).

Наиболее точным считается базирование детали на чистые плоскости и технологические отверстия, служащие базами и для последующих операций. В этом случае в условия поставки включается величина допуска на коробление базовой плоскости, а также допуск на диаметр базовых отверстий и величину межцентрового расстояния. При невозможности размещения центровых отверстий в самой детали их можно скрыть в специальных, заранее предусмотренных приливах, величины которых также даются в условиях.

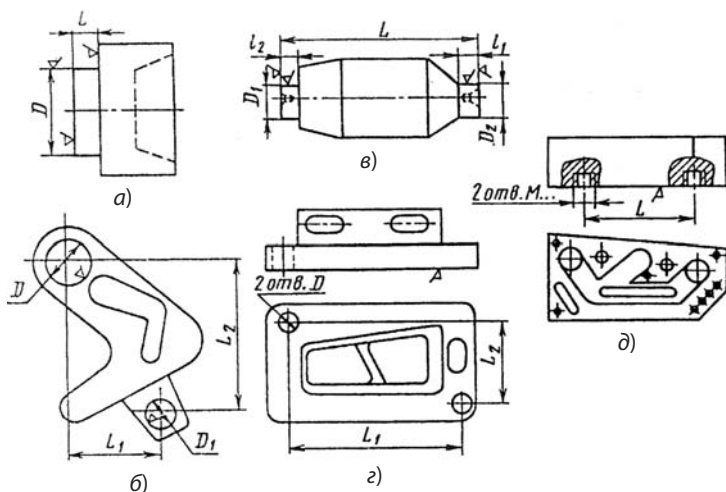


Рис. 6.10. Примеры заготовок с базовыми поверхностями, подготовленными для обработки на станках с ЧПУ

РАЗДЕЛ 7

ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ПОДГОТОВКА ПРИ СОЗДАНИИ УП ДЛЯ СТАНКА С ЧПУ

7.1. РАЗРАБОТКА МАРШРУТНОЙ ТЕХНОЛОГИИ ПРИ СОЗДАНИИ УП

7.1.1. Выбор последовательности обработки детали по зонам

Выбор последовательности обработки детали является одной из наиболее важных задач, решаемых при проектировании технологического процесса. Последовательность обработки, указанная с комплектом оснастки и режущего инструмента, полностью определяет маршрут обработки детали на станке с ЧПУ. Прежде всего должен быть решен вопрос о количестве установов (положений) детали на столе станка. Первый установ, как правило, выбирают из условия наиболее удобного базирования заготовки на черные или заранее подготовленные чистые поверхности. Последующие установы (если они требуются) производятся на обработанные чистые базы. Конечной задачей является поиск схемы, обеспечивающей наиболее полную обработку детали со всех сторон с наименьшим количеством установов. Одновременно производится эскизное проектирование приспособлений для базирования и зажима заготовки во всех положениях.

Для каждого установа детали определяется:

- последовательность обработки по зонам, связанная с конструктивными особенностями детали (зона наружных и внутренних контуров, зона торцов ребер, плоскости и т.д.);
- последовательность обработки по ее видам (черновая, чистая) в каждой из зон.

Рассмотрим последовательность обработки по зонам.

Токарная обработка. Так как обработка деталей на токарных станках с ЧПУ может выполняться в центрах или в патронах, то приводятся две типовые последовательности обработки зон.

При обработке в *центрах*:

1) черновая обработка основных зон, из числа которых первыми обрабатываются поверхности, требующие рабочих перемещений режущего инструмента по направлению к передней бабке;

2) черновая и чистовая обработка дополнительных зон, кроме канавок для выхода шлифовального круга, резьбы и мелких выточек;

3) чистовая обработка основных зон, причем первой выполняется подрезка торца, далее — обработка наружных поверхностей;

4) обработка дополнительных зон, не требующих черновых переходов.

При обработке в *патронах*:

1) центрование (выполняется при сверлении отверстий диаметром менее 20 мм);

2) сверление (при сверлении ступенчатых отверстий сначала выполняется сверление сверлом большего диаметра до 20 мм, а потом меньшего);

3) черновая обработка основных зон (сначала подрезка внешнего торца предварительно и окончательно, затем обработка наружных поверхностей и далее — внутренних поверхностей);

4) черновая и чистовая обработка дополнительных зон, кроме канавок для выхода шлифовального круга, резьбы и мелких выточек);

5) чистовая обработка основных зон, кроме внешнего торца (сначала внутренние поверхности, затем наружные);

6) обработка дополнительных зон, не требующих черновой обработки (сначала в отверстиях или на торце, затем на наружных поверхностях).

Последовательность обработки заготовок в трехкулачковом патроне показана на рис 7.1.

Фрезерная обработка. Для фрезерной обработки при определении последовательности обработки по зонам необходимо соблюдать условие получения максимальной жесткости детали на каждом участке обработки. Так, при наличии ребер в детали наиболее целесообразно вначале, до обработки контуров детали, обработать торцы ребер, так как ребра при этом будут более жесткими. Затем желательно обработать внутренние контуры детали и заключенные в них плоскости. При обработке внутренних контуров можно вырезать окна или технологические отверстия, через которые с помощью накладных прижимов осуществляется крепление детали для последующей операции — обработки наружного контура.

В качестве типовой последовательности обработки по зонам корпусной симметричной детали, изготовленной из поковки (см. рис. 6.1, б), может быть принята следующая последовательность:

1) обработка зон верхней области симметрии детали: черновое фрезерование открытых основных зон — торцовой плоскости 4, наружного контура 2, ребер 6; выборка основного массива металла в основных закрытых и полукрытых зонах — внутреннем контуре 5, контуре 1; черновое фрезерование основных и дополнительных полукрытых и закрытых зон — внутреннего контура 5 с сопряжением 9, плоскости 7, контура паза 1, сопряжения 3;

2) обработка зон нижней области симметрии детали: черновое и чистовое фрезерование открытых основных зон — торцевой плоскости 14, ребер 11; выборка основного массива металла в основных закрытых и полукрытых зонах — внутреннем контуре 12, контуре 1; черновое и чистовое фрезерование основных и дополнительных полукрытых и закрытых зон — внутреннего контура 12 с сопряжением 13, плоскости 10, контура паза 1, сопряжения 15;

3) обработка зон верхней симметрии детали: чистовое фрезерование открытых основных зон — торцевой плоскости 4, наружного контура 2, ребер 6; чистовое фрезерование основных и дополнительных полукрытых и закрытых зон — внутреннего контура 5 с сопряжением 9, плоскости 7, контура паза 1, сопряжения 3.

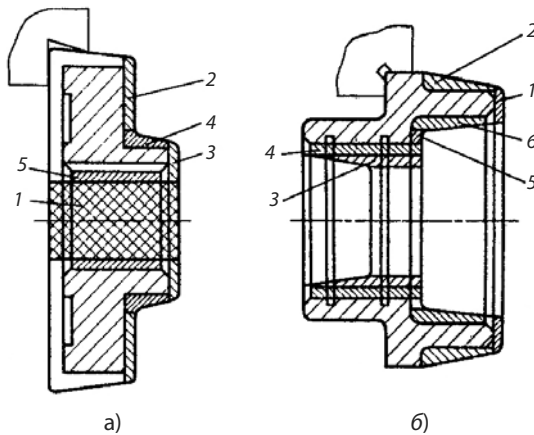


Рис. 7.1. Последовательность обработки заготовки в трехкулачковом патроне: а — зубчатое колесо; б — втулка; 1–6 — последовательность обработки

7.1.2. Выбор режущих инструментов и расчет их параметров

Процесс выбора инструментов для станков с ЧПУ может быть условно разбит на четыре этапа:

- *первый* этап — назначение совокупности видов инструмента, определяющего маршрут обработки данной детали;
- *второй* этап — выбор технологических параметров каждого вида инструмента (материала режущей части, углов заточки режущей кромки, количества зубьев), который производится по машиностроительным нормам;
- *третий* этап — расчет геометрических параметров выбранного инструмента, отражающих специфику обработки на станке с ЧПУ и определяющих содержание операции;

- *четвертый* этап — определение конструктивных особенностей специальных режущих инструментов.

Укрупненная блок-схема выбора режущего инструмента показана на рис. 7.2.

Рассмотрим содержание этапов выбора инструментов более подробно.

1. Назначение совокупности видов инструментов, определяющих маршрут обработки. Для токарных станков число инструментов, их назначение и последовательность обработки определяются характером основных и дополнительных зон, из которых образован контур, размерами и необходимостью обработки отверстий, а также числом рабочих позиций револьверной головки.

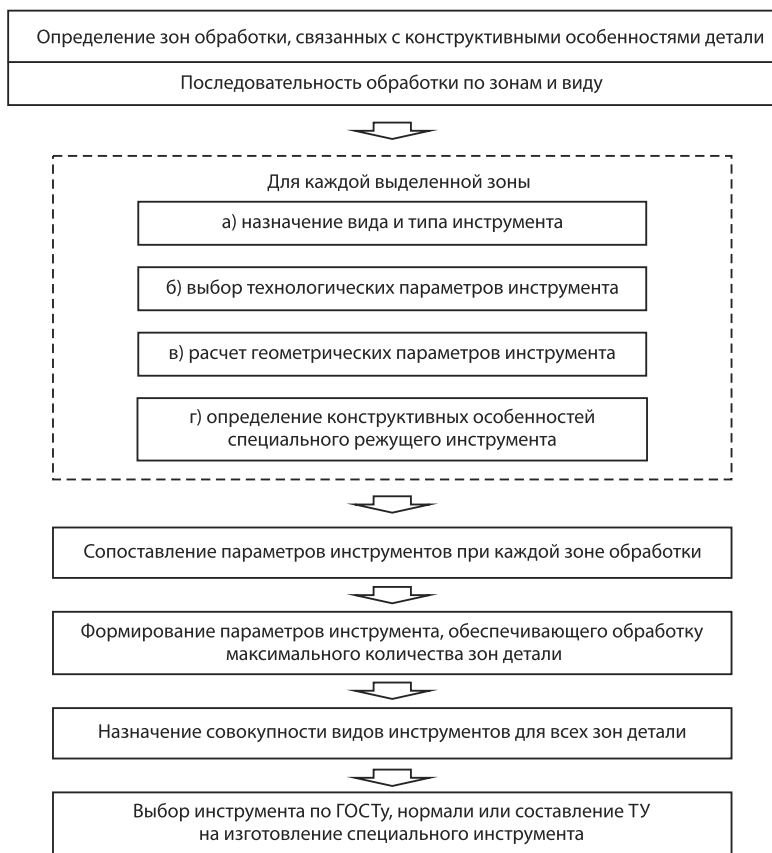


Рис. 7.2. Укрупненная блок-схема выбора режущего инструмента для станков с ЧПУ

Для обработки наружных основных зон поверхности назначают проходной и чистовой проходной (контурный) резцы. Эти резцы устанавливаются перпендикулярно или параллельно оси вращения обрабатываемой заготовки.

Обработку внутренних основных зон (зон отверстий) при отсутствии их в заготовке начинают со сверления. Отверстия диаметром до 25 мм обрабатывают спиральным сверлом с углом при вершине 118° (рис. 7.3, а). Отверстия диаметрами 25, 30, 35, 40, 45, 50 мм обрабатывают двумя сверлами с углом при вершине 118° и донным сверлом с углом при вершине 180° (рис. 7.3, б). Отверстия диаметром более 25 мм с углубленным доньшком обрабатывают тремя инструментами: сверлом с углом при вершине 118° ; донным сверлом с углом при вершине 180° ; проходным расточным резцом с подрезанием торца выступающей части доньшка (рис. 7.3, в). Отверстия диаметром более 46 мм с плоским доньшком обрабатывают двумя инструментами: сверлом с углом при вершине 118° и проходным расточным резцом с подрезанием торца до места прохождения оси отверстия (рис. 7.3, г).

Для обработки дополнительных зон необходимы резцы прорезные наружные, прорезные торцовые, для угловых канавок, резьбовые, отрезные.

Из инструментов различной конфигурации, позволяющих обрабатывать одинаковые зоны, выбирают тот, которым можно обработать большее разнообразие зон.

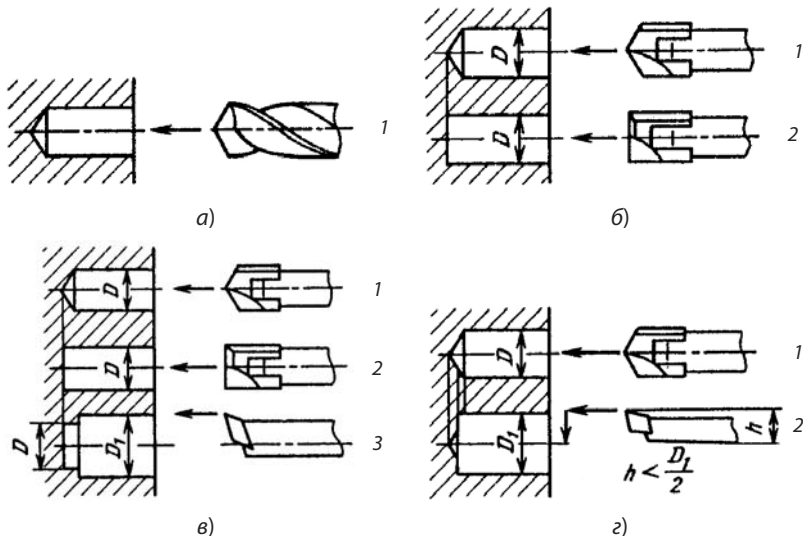


Рис. 7.3. Инструмент для обработки внутренних основных зон

На рис 7.4 показана типовая последовательность обработки детали на токарном станке с ЧПУ с назначенной совокупностью режущих инструментов.

Для **фрезерных, многоцелевых станков** основные и дополнительные зоны обрабатываются широкой номенклатурой фрез: торцовых, концевых, сферических, пазовых, грибковых, с осевым врезанием и т.п.

При выборе торцовых фрез, рекомендуемых для обработки плоскостей, выбирают фрезу, обеспечивающую минимальное число проходов. Однако при окончательном выборе учитывают диаметры торцовых фрез, выбираемых для обработки всех плоскостей, обрабатываемых в операции. Необходимо обеспечить производительную работу одной фрезой возможно большего числа плоскостей. Поэтому из применяемых торцовых фрез необходимо выбирать фрезы меньшего диаметра.

Сложные контуры, отверстия и пазы большей ширины (более 50 мм) рекомендуется фрезеровать концевыми фрезами, оснащенными твердосплавными пластинками, длина режущей части которых зависит от числа пластин на одном зубе. Для фрезерования пазов небольшой ширины могут быть использованы быстрорежущие и твердосплавные концевые и шпоночные фрезы стандартных размеров, дисковые и трехсторонние фрезы, набор дисковых фрез. Пазы, канавки следует обрабатывать концевыми, дисковыми, шпоночными фрезами, имеющими размер (диаметр или ширину), отличающийся от размера паза или канавки.

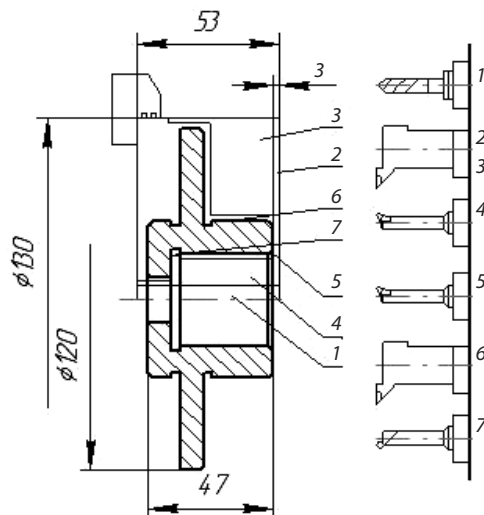


Рис. 7.4. Типовая последовательность обработки с назначенной совокупностью режущих инструментов:
1–7 — последовательность переходов и инструментов

Быстрорежущие концевые фрезы имеют диаметр 5–50 мм, твердосплавные — 20–50 мм, трехсторонние фрезы для обработки пазов и канавок имеют диаметр до 160 мм и ширину 5–36 мм. Диаметр шпоночных фрез 5–12 мм (из быстрорежущей стали) и 4–12 — из твердого сплава. Диаметр концевых, шпоночных и трехсторонних фрез D принимают максимально возможным для обработки данного паза и контурной поверхности детали.

Для чернового растачивания отверстий диаметром свыше 80 до 250 мм следует применять расточные регулируемые головки с механическим креплением четырехгранных пластин из твердого сплава. Для черновой обработки отверстий диаметром свыше 22 до 180 мм могут быть рекомендованы черновые двухрезцовые расточные оправки с резцами, оснащенными твердосплавными пластинами. Растачивание отверстий диаметром 10–30 мм следует выполнять расточными головками с радиальным настроечным перемещением резца.

На рис. 7.5 показана последовательность обработки по зонам при фрезеровании детали типа «корпус»:

- зона А — фрезерование верхней плоскости; фреза торцовая 1;
- зона Б — фрезерование верхнего уступа; фреза торцовая 2 со вставными ножами с прямым углом;
- зона В — фрезерование нижнего уступа; фреза торцовая 2;
- зона Г — фрезерование боковой поверхности; фреза концевая быстрорежущая 3;

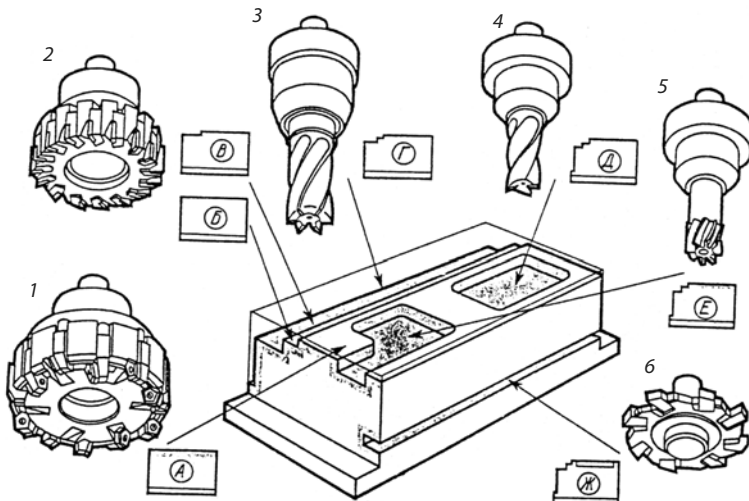


Рис. 7.5. Зоны обработки детали типа «корпус»: 1–6 — применяемый инструмент

- зона Д — фрезерование окна; фреза концевая с торцовыми зубьями 4;
- зона Е — фрезерование контурной выемки; фреза концевая 5 твердосплавная;
- зона Ж — фрезерование продольного паза; фреза дисковая 6 пазовая с твердосплавными вставными ножами.

2. Определение технологических параметров выбранного режущего инструмента. Основными критериями при выборе технологических параметров являются жесткость, стойкость, точность и универсальность. Для назначения параметров инструментов необходимо знать основные требования, предъявляемые к ним при работе на станках с ЧПУ.

Требования, предъявляемые к резцам. Резцы должны:

- максимально содержать неперетачиваемые пластины, механически закрепляемые на корпусе инструмента, что обеспечивает постоянство его конструктивных и геометрических параметров в процессе резания;
- иметь рациональные формы пластин, обеспечивающие универсальность инструмента, что позволяет обрабатывать одним резцом максимальное число поверхностей детали;
- допускать возможность работы всех инструментов в прямом и перевернутом положениях;
- предусматривать применение в левом исполнении;
- обеспечивать повышенную точность инструмента, особенно резцовых вставок, по сравнению с универсальным инструментом для станков с ручным управлением;
- удовлетворительно формировать стружку и отводить ее по канавкам, образованным в процессе прессования и спекания твердого сплава или выточенным алмазным кругом на передних поверхностях пластин.

Требования, предъявляемые к фрезам. Фрезы должны:

- обеспечивать усиленный выход стружки. Это достигается повышением угла наклона спирали. Например, при обработке алюминиевых сплавов рекомендуются специальные 2–3-зубные фрезы с углом наклона 35–50°. Рекомендуется также полирование стружечных канавок и алмазная доводка режущих кромок (рис. 7.6, а);
- изменять направление осевой составляющей усилия резания таким образом, чтобы она прижимала деталь к столу станка. Это достигается применением праворежущих фрез с левой спиралью и леворежущих с правой спиралью, что способствует улучшению условий обработки тонких плоских деталей (рис. 7.6, б);
- уменьшать вибрации инструмента несимметричным расположением зубьев фрезы (рис. 7.6, в);

- заточка торца фрезы должна позволять осуществлять вертикальное врезание в металл. Такая заточка может быть выполнена на двух- и четырехзубных фрезах. В последнем случае два противоположных зуба стачиваются под углом (рис. 7.6, з, з);
- иметь повышенную жесткость режущей части инструмента, что достигается повышением диаметра сечения сердечника (т.е. понижением глубины канавки), а также применением конического сердечника (канавки переменной глубины) (рис. 7.6, д, ж);
- иметь возможность увеличения вылета инструмента в том случае, когда при обработке не требуется слишком длинной режущей части, однако выступающие элементы детали не позволяют опустить пиноль на требуемый уровень. В этом случае для сохранения жесткости инструмента необходимо предусматривать усилительный конус (рис. 7.6, е).

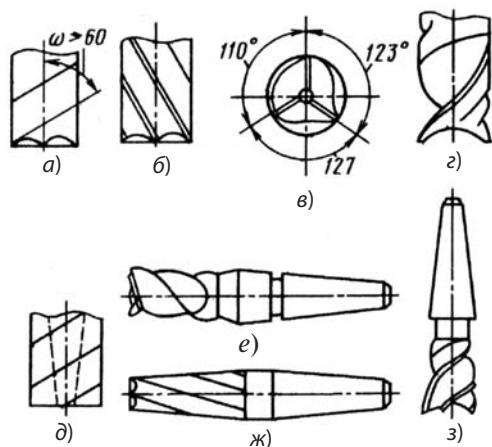


Рис. 7.6. Особенности концевых фрез, применяемых на станках с ЧПУ

3. Расчет геометрических параметров режущего инструмента, отражающих специфику обработки на станке с ЧПУ. Данный этап особенно характерен для фрезерной обработки. В этом случае рассчитываются следующие параметры фрез (рис. 7.7):

1) диаметр концевой фрезы D для чистовой обработки контура выбирается по номинальному размеру наименьшего типового радиуса направляющей вогнутой поверхности (конструктивного радиуса в плане $R_{\text{тип}}$) без учета допуска на изготовление.

Выборный диаметр D проверяется:

- по ограничениям D_{max} и D_{min} , налагаемым станком;
- по условию жесткости инструмента $H \leq 2,5D$, где H — максимальная высота стенки данного контура.

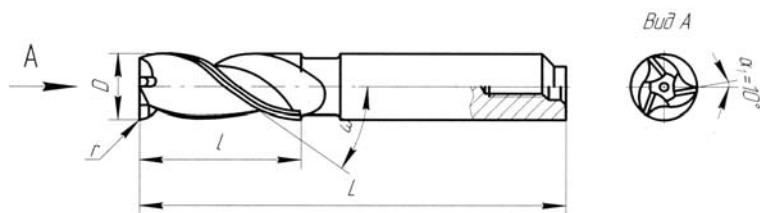


Рис. 7.7. Геометрические параметры концевой фрезы

В случае невыполнения условий жесткости принимают номинальный размер ближайшего типового диаметра D , удовлетворяющий условиям жесткости;

2) радиус заточки r для чистовой обработки определяется наименьшим размером радиуса галтели $r_{\text{тип}}$, задаваемого конструкцией детали (см. рис. 6.7);

3) длина режущей части инструмента l рассчитывается:

$l = H + (5-7)$ мм — для обработки внутреннего глухого контура;

$l = H + r + 5$ мм — для наружного и сквозного внутреннего контуров;

4) диаметр фрезы $D_{\text{черн}}$ для черновой обработки внутреннего контура ограничивается условием доступа инструмента во внутренние острые углы контура и рассчитывается по формуле

$$D_{\text{черн}} = \frac{2 \cdot (\delta \cdot \sin \frac{\varphi}{2} - \delta_1)}{1 - \sin \frac{\varphi}{2}} + D,$$

где δ — максимальный припуск при обработке внутреннего угла (должен быть не более $0,2-0,3D$); δ_1 — припуск для чистовой обработки контура; φ — наименьший угол сопряжения сторон в данном контуре; D — диаметр окружности, сопрягающей стороны контура, равный диаметру фрезы при чистовой обработке (рис. 7.8);

5) при обработке колодца диаметр фрезы D не должен быть более $\frac{3}{4} D_o$ (максимального диаметра окружности, вписанной во внутренний контур колодца (рис. 7.9, а). При этом в случае необходимости врезания по наклонной линии должно быть обеспечено перемещение фрезы без зарезов колодца на длине не менее трех диаметров фрезы;

6) диаметр торца фрезы для торцовки ребер (рис. 7.9, б) назначается

$$D_{\text{т}} = (5 - 10)b,$$

где b — окончательная толщина стенки.

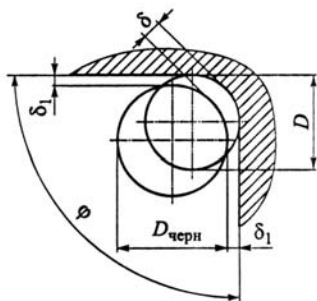


Рис. 7.8. Расчет диаметра фрезы $D_{\text{черн}}$ для черновой обработки

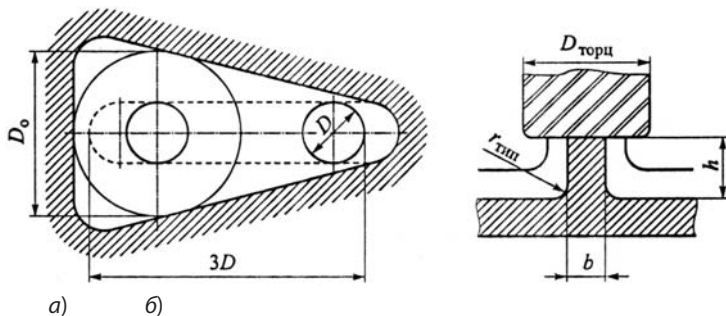


Рис. 7.9. Расчет диаметра фрезы:
а) при обработке колодца — D ; б) при торцовке ребер — $D_{\text{торц}}$

Радиус заточки торца фрезы r выбирается равным $r_{\text{тип}}$ на ребрах, а длина режущей части l выбирается исходя из высоты ребра h .

Радиус заточки фрезы для черновой обработки $r_{\text{черн}}$ (рис. 7.10) рассчитывается исходя из условий обработки по следующим правилам:

- если величина радиуса сопряжения $r_{\text{тип}}$ стенки с полкой, выполняемого при чистовой обработке, меньше величин припусков по стенке δ_1 или полке δ_2 (рис. 7.10, а, б), то радиус заточки торца принимается равным 0,5–1 мм;
- если величина радиуса сопряжения стенки с полкой $r_{\text{тип}}$ больше величины припуска по стенке δ_1 , а припуск по полке $\delta_2 = 0$ (рис. 7.10, в), то

$$r_{\text{черн}} = r_{\text{тип}} - \delta + 0,1D_{\text{черн}};$$

- если величины припусков по стенке и полке меньше величины радиуса сопряжения $r_{\text{тип}}$ (рис. 7.10, г), то радиус заточки торца определяется как

$$r_{\text{черн}} = 0,5D - (\delta_1 + \delta_2 + \sqrt{2 \cdot \delta_1 \cdot \delta_2}) + 0,1D_{\text{черн}}.$$

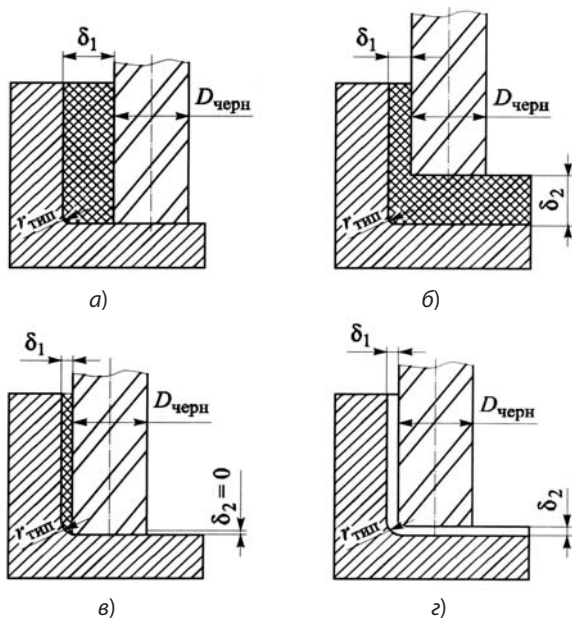


Рис. 7.10. К расчету радиуса $r_{\text{черн}}$ заточки фрезы для проведения черновой обработки

4. Определение конструктивных особенностей специальных режущих инструментов. Для обработки сложных поверхностей на станках с ЧПУ используется специальный инструмент с конструктивными особенностями, представленный в табл. 7.1.

Построчная обработка концевыми и дисковыми фрезами, имеющими профиль в виде сферы или тора, может применяться для поверхностей всех видов при использовании трехкоординатных станков с ЧПУ (способ 1). Шаг строки может быть определен:

- для прямолинейных поверхностей по формуле

$$\Delta l_1 = 2 \cdot \sqrt{2R_{\text{ф}} \cdot H - H^2};$$

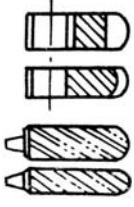
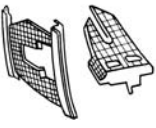
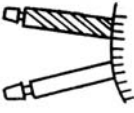
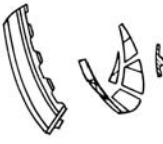
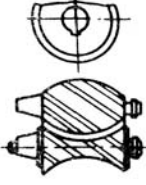
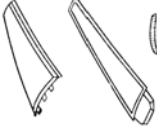
- для криволинейных поверхностей по формуле

$$\Delta l_2 = \frac{2R_{\text{д}}}{(R_{\text{д}} \pm R_{\text{ф}})} \cdot \sqrt{(R_{\text{д}} \pm R_{\text{ф}})^2 (R_{\text{д}} \pm H) - [(R_{\text{д}} \pm H)^2 + R_{\text{д}}^2 \pm 2R_{\text{д}}R_{\text{ф}}]},$$

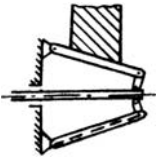
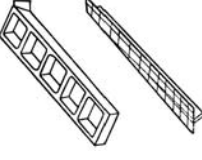
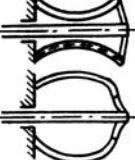

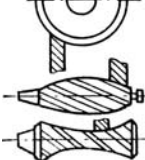

где $R_{\text{ф}}$ — радиус профиля режущей части фрезы; H — допустимая высота гребешка; $R_{\text{д}}$ — радиус кривизны детали; «+» — для выпуклых кривых; «-» — для вогнутых кривых.

Таблица 7.1

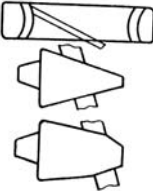

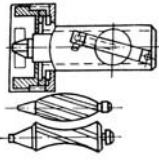
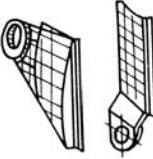
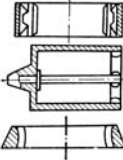
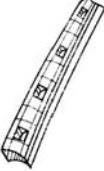
Конструктивные особенности режущего инструмента для обработки сложных поверхностей

Шифр способа	Характеристика способа	Схема инструмента или процесса обработки	Количество координат	Характеристика обрабатываемых деталей	Наименование	Эскизы типовых представителей
1	Построчная обработка фрезами со сферическим и торцовым профилем		3	Детали одинарной и двойной кривизны, имеющие поверхности, ограниченные стенками, ребрами или подсечками	Окантовка люков, каркасные детали, фитинги, кронштейны	
2	Построчная обработка концевыми фрезами с применением многокоординатного оборудования		5	Детали повышенной сложности, требующие обработки несколькими поверхностями при одной установке детали	Детали каркаса фонаря, профили разъемов, нервюры, балки, пояса	
3	Построчная обработка фрезами радиусного и специального фасонного профиля		3-5	Детали, ограниченные большими открытыми поверхностями, с малыми припусками	Монолитные и сотовые панели, лонжероны, пояса, балки	

Продолжение табл. 7.1

Шифр способа	Характеристика способа	Схема инструмента или процесса обработки	Количество координат	Характеристика обрабатываемых деталей	Наименование	Эскизы типовых представителей
4	Обработка специальным инструментом с изменяемым углом наклона режущих кромок		3—4	Детали, ограниченные открытыми поверхностями, типа переменной малки	Балки, пояса, кронштейны, панели (по малкованной поверхности)	
5	Построенная обработка инструментом, имеющим фасонные режущие кромки с изменяемым положением		4	Длинномерные детали из легких и цветных сплавов	Пояса лонжеронов, шпангоутов, нервюр, стрингеры, фасонные профили	
6	Обработка фасонным инструментом с перемещением по вертикальной оси		3	Плоские детали, ограниченные поверхностями, типа переменной малки	Пояса, стрингеры, профили, детали обшивки и каркасы	

Окончание табл. 7.1

Шифр способа	Характеристика способа	Схема инструмента или процесса обработки	Количество координат	Характеристика обрабатываемых деталей	Наименование	Эскизы типовых представителей
7	Обработка плоской заготовки, расположенной под углом к поверхности стола станка		2–3	Детали, ограниченные поверхностями с переменным углом наклона образующей	Нервюры, носки крыла и закрылков	
8	Обработка фасонным или специальным инструментом с изменением угла наклона оси инструмента		4	Объемные детали, ограниченные коническими и цилиндрическими поверхностями	Балки, детали каркаса	
9	Обработка с применением специального охватывающего инструмента		3–5	Детали типа законцовок крыла, хвостового оперения	Законцовки	

Способ построчной обработки инструментом с плоским торцом (способ 2) применяется на многокоординатных станках с ЧПУ, позволяющих в каждом проходе ориентировать инструмент по нормали к обрабатываемой поверхности.

Построчная обработка инструментом радиусного и специального профиля (способ 3) обеспечивает увеличенную длину активного контакта инструмента с обрабатываемой поверхностью. Применяемый инструмент — это фасонные концевые фрезы для станков с ЧПУ.

Для обработки открытых поверхностей типа переменной малки применяют фрезы с изменяемой конусностью (способ 4). Изменение угла наклона режущих кромок фрезы производится механизмом вертикальной подачи шпинделя станка посредством перемещающегося валика, соединенного подкосами с нижними шарнирами ножей.

Построчная обработка фасонным инструментом с изменяемой геометрией (способ 5) является дальнейшим развитием способа 3.

Для обработки открытых поверхностей типа переменной малки на трехкоординатных станках с ЧПУ применяется радиусный и фасонный инструмент, подбираемый таким образом, чтобы изменение угла наклона образующей профиля инструмента при перемещении его по координате соответствовало изменению угла малки (способ 6).

Способ обработки деталей с переменной малкой фасонным инструментом при наклонном расположении детали и плоскости стола станка (способ 7) является видоизменением способа 6. Формообразование некоторых видов линейчатых поверхностей выполняется путем обработки фасонным инструментом с изменением угла наклона оси инструмента относительно образующей обрабатываемой поверхности (способ 8). Совмещение профиля режущей кромки с профилем обрабатываемой поверхности достигается или с помощью поворота оси вращения инструмента, или за счет изменения угла наклона ножей инструмента специальной конструкции.

При обработке поверхностей типа коноидов применяется фрезерование охватывающим инструментом (способ 9). При обработке деталь помещается во внутренней полости инструмента.

7.1.3. Назначение параметров инструмента для УП. Система координат инструмента

В УП задаются следующие параметры инструмента: значение вылета резца X и Z при точении (рис. 7.11, *а*) и значения вылета фрезы L и ее диаметра D при фрезеровании (рис. 7.11, *б*). При этом учитывается, что инструмент устанавливается в инструментальную оснастку. Оснастка, используемая на станках с ЧПУ, приведена в разделе 4.

При задании траекторий перемещения режущих инструментов учитывают положение в процессе обработки некоторой точки P , ко-

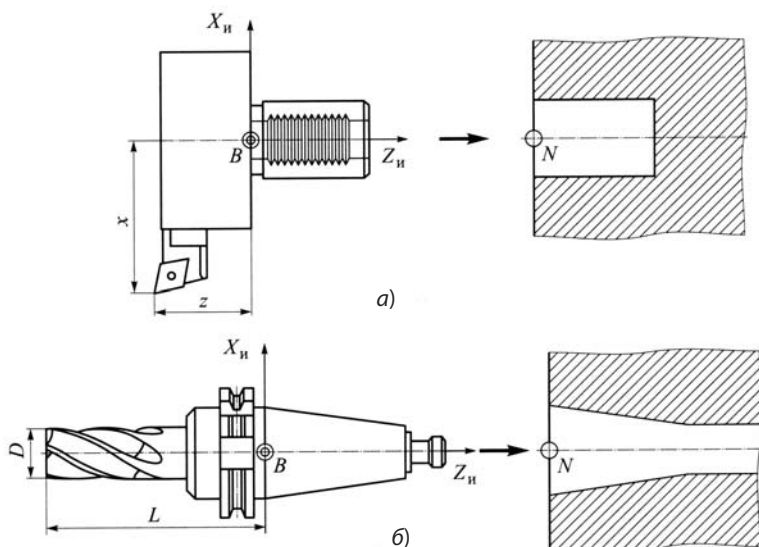


Рис. 7.11. Параметры инструментов, задаваемые в УП:
 а — для токарного резца, установленного в державке; б — для фрезы, установленной в оправку

торая для точения определяется центром закругления при вершине резца (действительный центр вершины резца) (рис. 7.12, а), для фрезерования — центром фрезы (рис. 7.12, б), для сверления — углом при вершине сверла (рис. 7.13, в). Положение режущей кромки резца задается главным ϕ и вспомогательным ϕ_1 углами в плане, сверла — углом при вершине 2ϕ и фрезы — диаметром D . Точку P называют *настроечной точкой*. Для определения положения настроечной

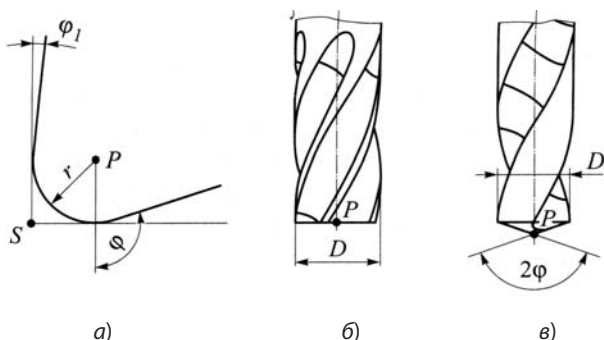


Рис. 7.12. Положение настроечной точки P для различных инструментов:
 а — для резца; б — для фрезы; в — для сверла

точки P назначают *систему координат инструмента*. Начало системы координат инструмента располагают на цилиндрических или конических базах инструментальной оснастки в точке, которую называют *фиксированной точкой установки инструмента* B . Оси системы координат инструмента $X_{и}$, $Z_{и}$ располагают параллельно соответствующим осям стандартной системы координат станка.

При установке инструментальной оснастки с инструментом на станке с ЧПУ фиксированная точка инструмента B совмещается с фиксированной точкой шпинделя N (см. табл. 6.2). Получаемая точка называется *исходной точкой инструмента* E .

Исходная точка инструмента E располагается:

- для фрезерных станков — на пересечении оси шпинделя и его торца (рис. 7.13, *a*);
- для токарных станков — либо на пересечении оси державки и торца револьверной головки (рис. 7.13, *б*), либо на оси револьверной головки (рис. 7.13, *в*).

Для точного определения положения настроечной точки P в системе координат $X_{и}$, $Z_{и}$ и последующего проведения коррекции параметров инструмента в УП инструмент измеряется оператором либо на станке с ЧПУ (например, сенсорной оптической измерительной системой), либо вне станка на специальном приборе (см. раздел 10).

Параметры станка заносятся в карту наладки инструмента.

7.1.4. Выбор приспособления

Выбор приспособления — одна из задач, которую выполняет технолог при создании маршрутной технологии. Для правильного выбора приспособления необходимо знать основные требования, предъявляемые к приспособлениям.

1. Необходимость точного базирования приспособления на столе с ЧПУ.

2. Рациональное размещение приспособления с деталью, обеспечивающее равномерный износ передачи ходовой винт — гайка.

3. Обеспечение максимальной жесткости системы «деталь — приспособление — стол».

4. Обеспечение безопасного расположения прижимных элементов приспособления и исходной точки УП.

5. Необходимость точной ориентации приспособления с закрепленной на нем заготовкой в системе координат станка и размерной увязки контура обрабатываемой детали с точкой начала обработки (исходной точкой программы) P_s .

Приспособления, применяемые на станках с ЧПУ, и возможные схемы базирования приведены в разделе 4.

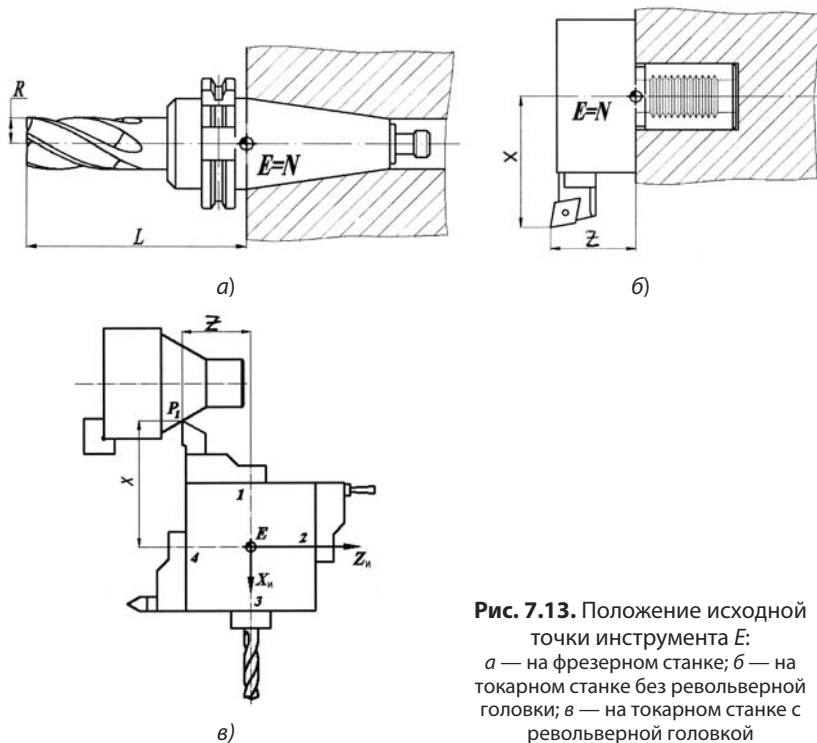


Рис. 7.13. Положение исходной точки инструмента E :
 а — на фрезерном станке; б — на токарном станке без револьверной головки; в — на токарном станке с револьверной головкой

7.1.5. Система координат детали. Назначение нулевой точки детали

Система координат детали — система, в которой определяются все размеры детали, назначается положение исходной точки программы P_s и формируются траектории перемещения режущего инструмента. Три направления осей системы координат детали X_d, Y_d, Z_d будут определять три возможные плоскости обработки: XOY, XOZ, YOZ . Для удобства программирования контура детали полагают, что инструмент движется относительно неподвижной заготовки и положительные направления осей X_d, Y_d, Z_d могут не совпадать с положительными направлениями движения осей станка X_c, Y_c, Z_c .

Нулевая точка детали W — точка детали, относительно которой заданы ее размеры, т.е. точка начала системы координат детали (см. табл. 6.2). Ее положение задается свободно, но обычно стремятся к совмещению точки W с началом отсчета размеров на чертеже (рис. 7.14). В этом случае при задании программируемого контура детали можно использовать размерные данные непосредственно с чертежа.

На чертежах деталей, подлежащих фрезерной обработке, при постановке размеров обычно принимается один из углов наружного контура. Этот же угол рекомендуется выбирать для назначения нулевой точки детали W . В таком случае задание координат программируемого контура осуществляется без дополнительных изменений.

В случае если деталь симметрична и размеры заданы, как показано на рис. 7.15, нулевую точку детали W целесообразно выбирать на оси симметрии. По координате Z нулевую точку целесообразно выбирать на чистой базовой плоскости либо приспособления, либо заготовки.

Для деталей, обрабатываемых точением, нулевая точка детали W выбирается на оси вращения с правой или левой стороны относительно контура обрабатываемой детали (рис. 7.16) в зависимости от верхнего или нижнего расположения резца относительно оси симметрии детали.

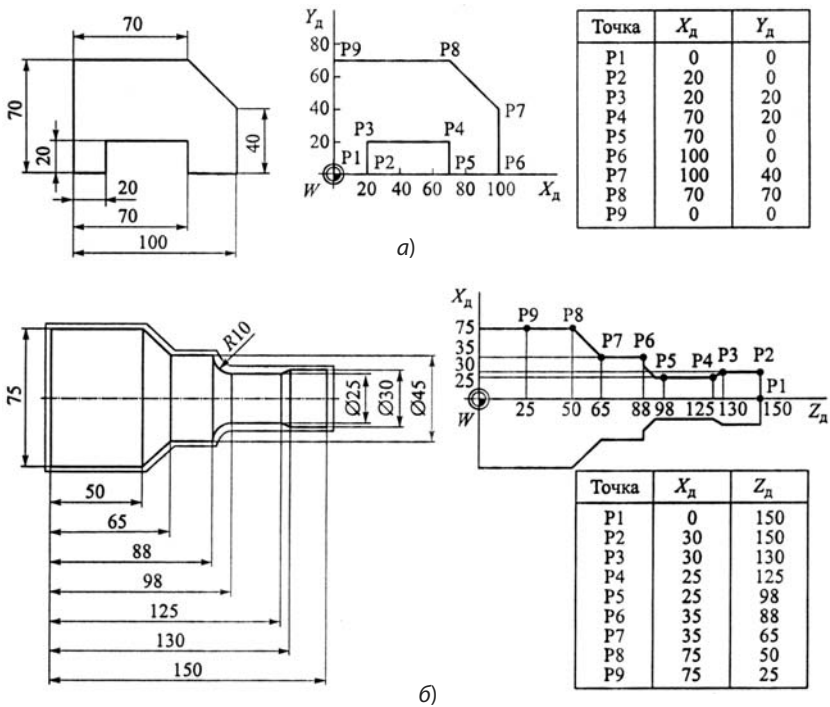


Рис. 7.14. Задание нулевой точки детали:
а — для фрезерной обработки; б — для токарной обработки

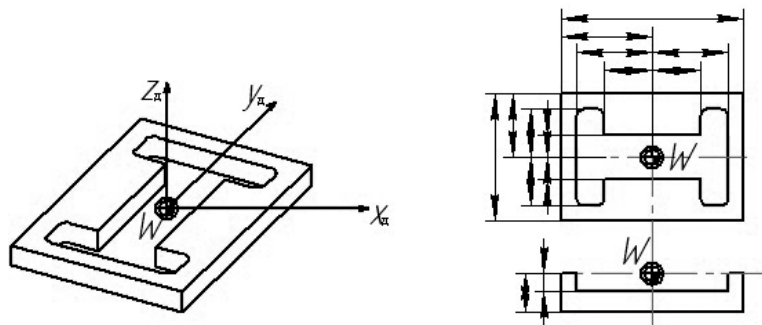


Рис. 7.15. Задание нулевой точки детали W при обработке симметричной детали

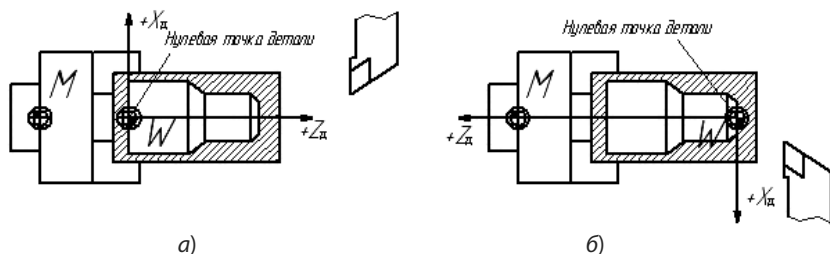


Рис. 7.16. Задание нулевой точки детали при точении:
 а — при верхнем расположении резца; б — при нижнем расположении резца

7.1.6. Задание исходной точки программы (P_s)

В системе координат детали необходимо назначить точку начала обработки заготовки P_s , ее также называют *исходной точкой программы* (см. табл. 6.2). Перед началом обработки настроечная точка инструмента P должна быть совмещена с точкой P_s . Таким образом, исходная точка программы P_s будет являться первой точкой движения инструмента по УП. Ее положение назначают исходя из удобства доступа оператора к детали, установленной в приспособлении в рабочей зоне станка (удобство настройки станка). Например, для вертикальных фрезерных станков точку P_s назначают в верхнем левом углу системы координат детали X_d, Y_d, Z_d (рис. 7.17). Минимальное расстояние L между зажимными элементами приспособления и исходной точкой программы рекомендуется назначать по табл. 7.2.

При назначении точки P_s также стремятся избежать лишних холостых ходов рабочих органов станка. Положение исходной точки

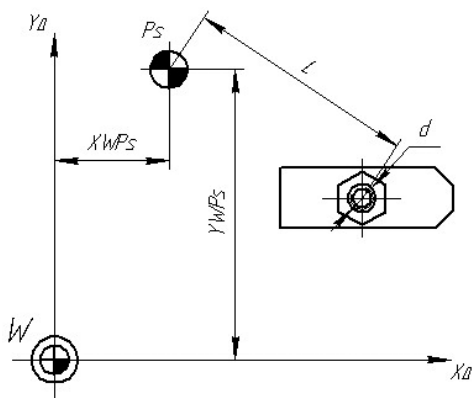


Рис. 7.17. Положение исходной точки программы P_s в системе координат детали W

программы P_s в системе координат детали W определяется по каждой из трех осей координат детали и обозначается как $X'WPs$, $Y'WPs$, $Z'WPs$.

Таблица 7.2

Расстояние между зажимными элементами приспособления и точкой P_s

Диаметр зажимного винта d	M6	M8	M10	M12	M16
L , мм	120	130	155	155	190

7.1.7. Определение положения нулевой точки детали W , исходной точки инструмента E , исходной точки программы P_s в системе координат станка

При разработке маршрутной технологии определяется положение системы координат выбранного инструмента X_n, Y_n, Z_n и системы координат программируемой детали X_d, Y_d, Z_d в системе координат станка X_c, Y_c, Z_c . Такая связь систем координат детали, инструмента и станка позволяет выдерживать заданную точность при переустановках заготовки и учитывать диапазон перемещений рабочих органов станка при расчете траектории инструмента в УП. Все три координатные системы на станке с ЧПУ взаимосвязаны.

Задание нулевой точки детали W в системе координат станка. Расположение нулевой точки детали задается относительно нулевой точки станка M . Расстояние между нулем станка M и нулевой точкой детали W называется *смещением нуля отсчета*. Оно определяется как смещение по каждой из трех осей координат и обозначается как ZMW, XMW, YMW . На рис. 7.18 и 7.19 показано расположение нуля детали W в системе координат фрезерного и токарного станков.

Задание исходной точки инструмента E в системе координат станка. Положение исходной точки инструмента E является фиксированной

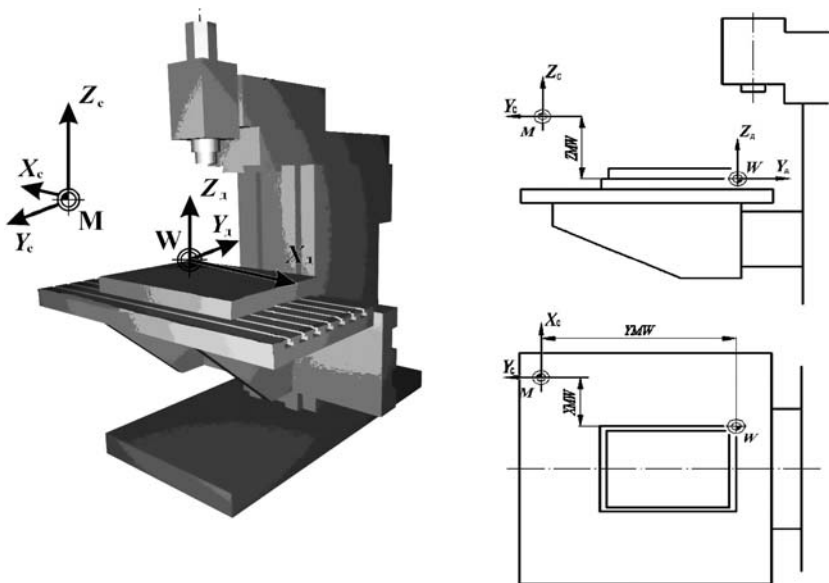


Рис. 7.18. Положение нулевой точки детали W в системе координат фрезерного станка

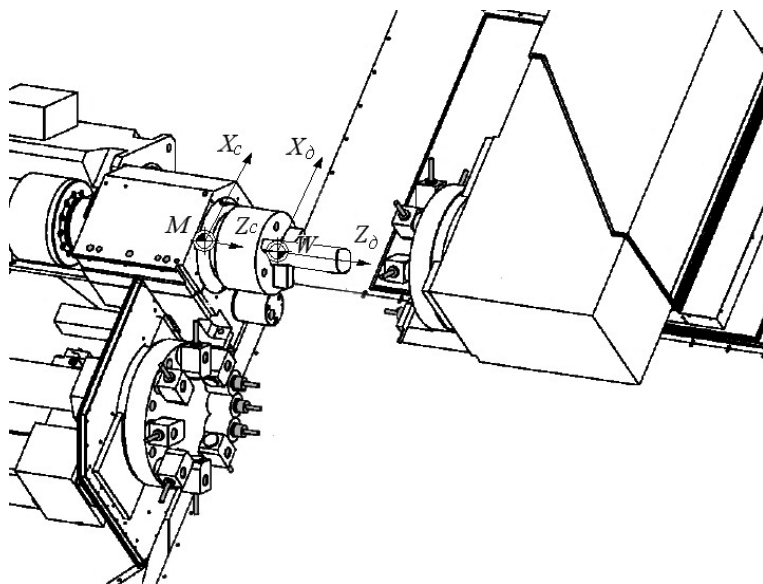


Рис. 7.19. Положение нулевой точки детали W в системе координат токарного станка

величиной в системе координат станка. Расстояние между нулем станка M и исходной точкой инструмента E в позиции смены инструмента задается производителем станка. Определяется как смещение по каждой из трех осей координат и обозначается как ZME , XME , YME . На рис. 7.20 показано расположение исходной точки инструмента E в системе координат фрезерного (рис. 7.20, а) и токарного (рис. 7.20, б) станков.

Взаимное расположение нулевой точки детали W , исходной точки инструмента E , исходной точки станка R и исходной точки программы Ps на токарном станке с ЧПУ показано на рис. 7.21, на ГПМ, построенном на базе многоцелевого станка, — на рис. 7.22.

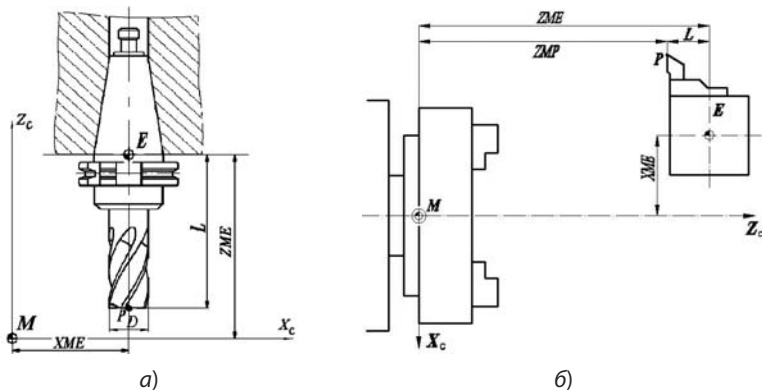


Рис. 7.20. Положение исходной точки инструмента E в системе координат станка:
а — фрезерного; б — токарного

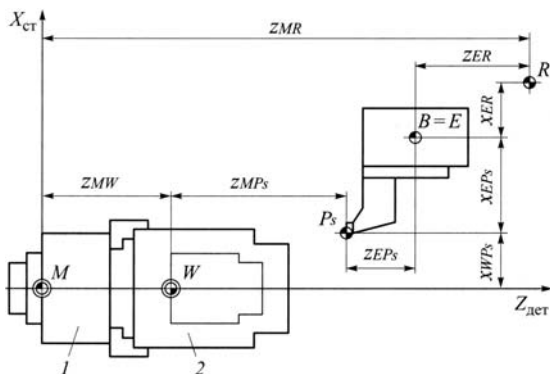


Рис. 7.21. Взаимное расположение нулевой точки детали W , исходной точки инструмента E , исходной точки станка M в системе координат токарного станка $X_c Y_c Z_c$:
1 — патрон;
2 — заготовка

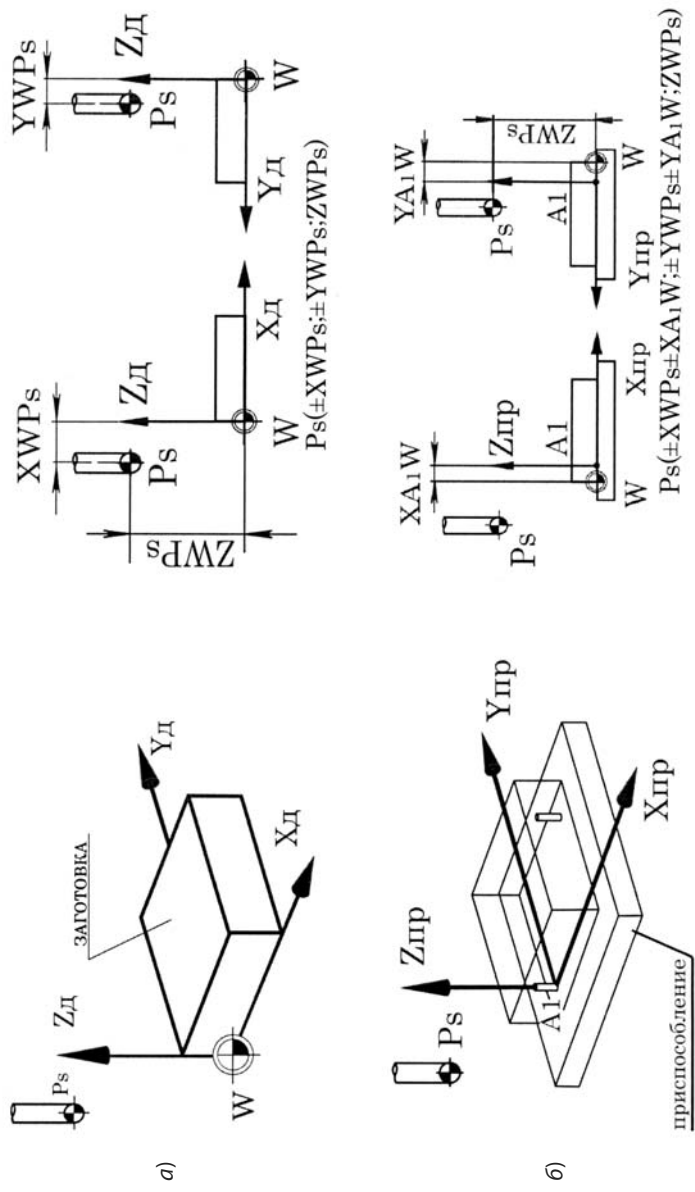


Рис. 7.22. Положение исходной точки программы P_s в системе координат: а) детали X_d, Y_d, Z_d ; б) приспособления $X_{пр}, Y_{пр}, Z_{пр}$; в) паллеты $X_{п-пр}, Y_{п-пр}, Z_{п-пр}$; г) стола станка X_c, Y_c, Z_c

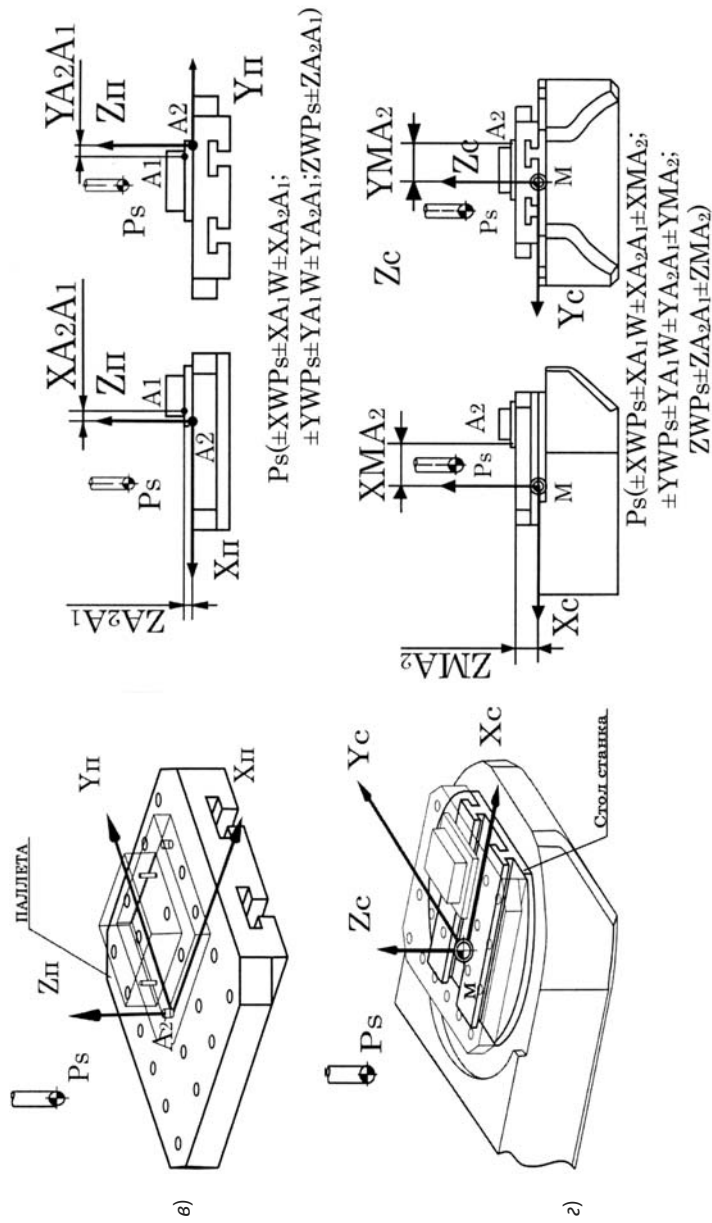


Рис. 7.22. (окончание): A_1 — начало системы координат, заданной на базах приспособления; A_2 — то же на базах паллеты; M — нулевая точка станка; P_s — исходная точка программы

7.2. РАЗРАБОТКА ОПЕРАЦИОННОЙ ТЕХНОЛОГИИ ПРИ СОЗДАНИИ УП

7.2.1. Основные понятия

Особенностью создания операционной технологии для станков с ЧПУ является определение последовательности обработки поверхностей в основных и дополнительных зонах обрабатываемой детали и построение траекторий движения инструментов.

На рис. 7.23 показана структура операционного технологического процесса обработки.

Переход — наименьшая законченная часть процесса обработки. Переход определяет качество обрабатываемой поверхности. Переходы делятся на элементарные, инструментальные, позиционные и вспомогательные.

Элементарный переход — наименьшая неделимая часть процесса обработки, выполняемая одним инструментом без воздействия оператора на органы управления скоростью резания на станке. Элементарный переход состоит из *проходов*, которые не являются законченной частью процесса, так как не характеризуют в полной мере качества, точности и производительности обработки. *Элементарная обрабатываемая поверхность* (ЭОП) образуется в результате выполнения элементарного перехода. Так как ЭОП может иметь изменяющийся припуск, то и режимы резания в элементарном переходе могут быть не постоянными. Поэтому участок поверхности, образованный той частью прохода элементарного перехода, где режим ре-



Рис. 7.23. Структура технологического процесса обработки деталей на станке с ЧПУ

зания может быть принят неизменным, называется *участком обработки*. Это понятие необходимо при расчете режимов резания.

При фрезеровании можно выделить семь вариантов ЭОП, так как фреза может работать несколькими режущими поверхностями (торцом, периферией и радиусом заточки), которые образуют четыре совокупности поверхностей: наружный контур, контур окон, контур выступов, плоскости (рис. 7.24). Наружный контур и контур окон обрабатываются всегда периферией фрезы, плоскость — торцом фрезы. Контур выступов могут обрабатываться пятью комбинациями режущих кромок.

Формирование ЭОП при точении показано на рис. 7.25 на примере черновой обработки основных зон наружных цилиндрических поверхностей. Припуски на черновую обработку t_1, t_2, t_3 основных зон 1, 2, 3 делятся на участки $t_{cp1}, t_{cp2}, t_{cp3}$, соответствующие предельной глубине резания $t_{пр}$ (зависит от прочности, стойкости инструмента, мощности привода подачи станка и т.п.). Наибольшая среди них глубина принимается единой и является расчетной t_p для всей черновой зоны обработки. ЭОП определяется единой расчетной глубиной обработки t_p .

Инструментальный переход — законченный процесс обработки нескольких ЭОП непрерывным движением одного инструмента. Так, например, инструментальный переход, где обрабатывается плоскость и ограничивающие ее выступы, состоит из двух элементарных переходов. Характеризуется построением *траекторий рабочих перемещений инструмента*.

Вспомогательный переход — часть процесса обработки, не связанная с образованием ЭОП. В отличие от станков с ручным управлением время вспомогательного перехода входит в машинное время работы станка. Характеризуется построением *траекторий вспомогательных перемещений инструмента*.

Траектория вспомогательных перемещений делятся на три типа:

- 1) траектория врезания (траектория подхода инструмента к началу инструментального перехода);
- 2) траектория выхода инструмент из зоны обработки;
- 3) траектория холостого перемещения инструмента.

Позиционный переход — совокупность инструментального и вспомогательного переходов.

Операция представляет собой заверченный комплекс всех позиционных переходов, выполняемых на станке с ЧПУ с помощью определенной оснастки. Обязательным при окончании выполнения операции является совмещение исходной и конечной точек УП.

Траектория обработки. При обработке на станке с ЧПУ осуществляется взаимное перемещение инструмента и заготовки. При создании УП обрабатываемые детали можно рассматривать как сово-

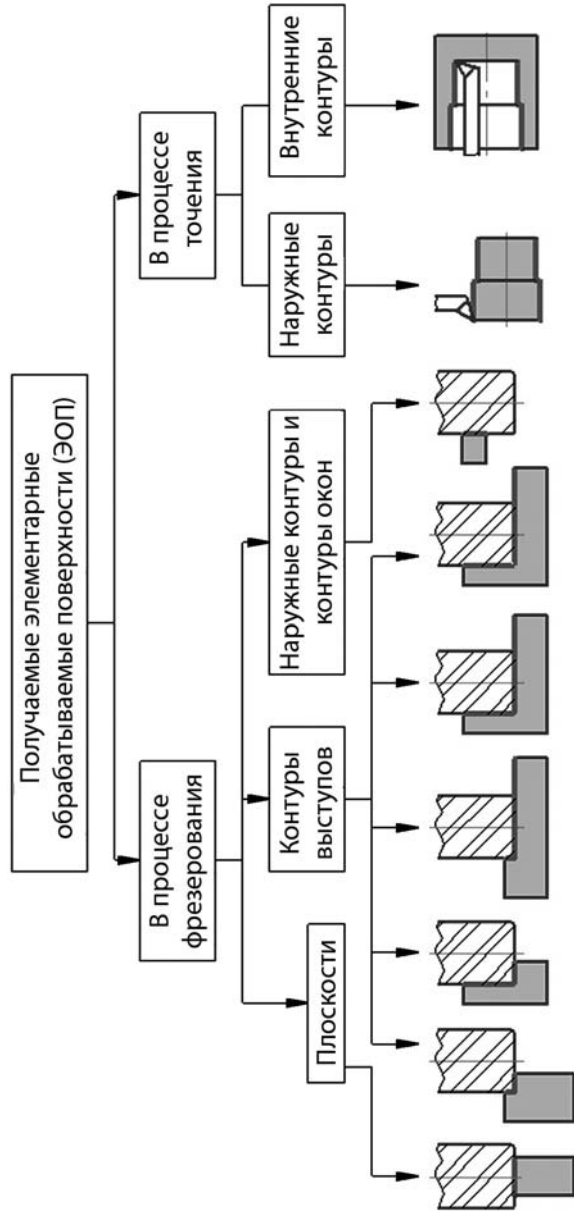


Рис. 7.24. Виды элементарных обрабатываемых поверхностей (ЭОП) при фрезеровании и точении

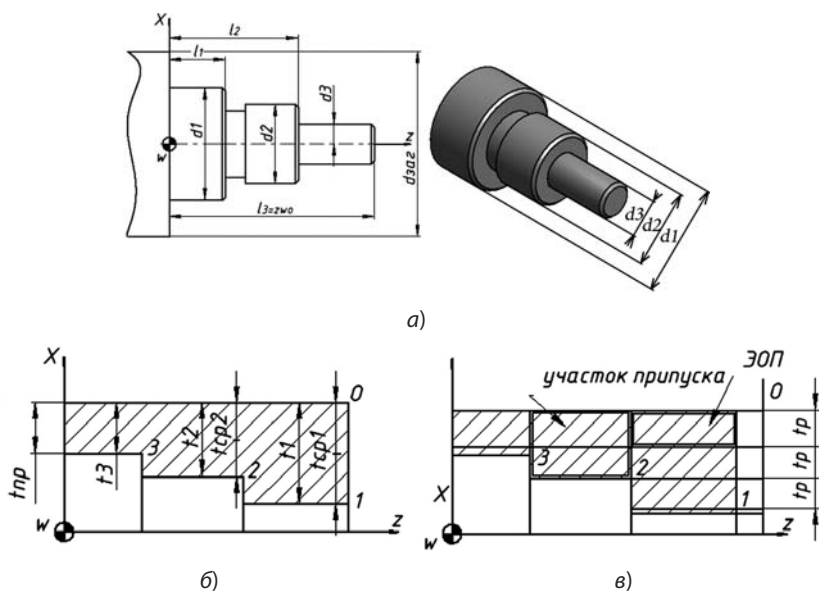


Рис. 7.25. Формирование ЭОП при точении

купность программируемых контуров. Каждый контур состоит из элементарных геометрических элементов: точек, прямых, дуг окружностей. При обработке контуров деталей УП описывает движение определенной точки инструмента — настроенной точки P вдоль контура детали (см. п. 7.1.3, рис. 7.12). В общем случае точка P , движение которой программируется, называется *центром инструмента*. Для концевой фрезы это центр основания фрезы (рис. 7.26, а), для резцов — центр дуги окружности при вершине (рис. 7.26, б). Величина радиуса при вершине резцов обычно мала, и смещение центра вершины резца S относительно действительной вершины P учитывается при коррекции инструмента в системе ЧПУ.

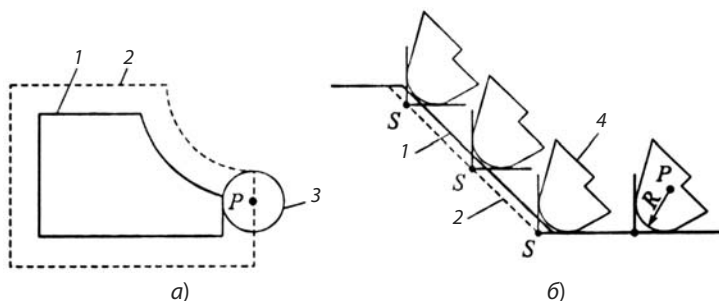


Рис. 7.26. Движение настроенной точки P при фрезеровании (а) и точении (б): 1 — обрабатываемый контур; 2 — движение центра инструмента; 3 — фреза; 4 — резец

При перемещении инструмента вдоль контура детали центр инструмента проходит путь, называемый *траекторией инструмента* (рис. 7.27). Характер траекторий, которые описываются в программе обработки, отражает форму контуров детали. Отдельные участки траектории также называются *геометрическими элементами*, которые соединяются пересечением или касанием. Точки конца одного геометрического элемента и начала другого называются *опорными точками траектории* (рис. 7.28). Траектория перемещения инструмента определяется совокупностью координат опорных точек. Опорными точками могут быть также точки траектории, где происходит изменение технологических параметров, например включение охлаждающей жидкости, задание паузы, технологического останова и т.п.

Если принять, что радиус инструмента во время обработки контура детали остается постоянным, то траектория центра инструмента при контурной обработке является эквидистантной к контуру детали. *Эквидистантой* называется геометрическое место точек, равноудаленных от какой-либо линии и расположенных по одну сторону от нее. Поэтому траекторию движения также называют *эквидистантой*.

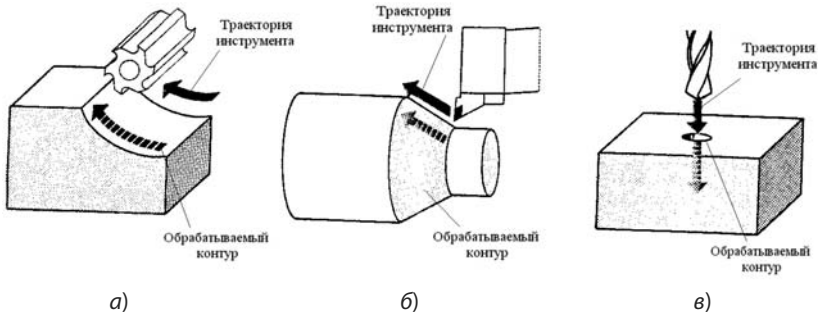


Рис. 7.27. Движение инструмента при фрезеровании (а), точении (б) и сверлении (в)

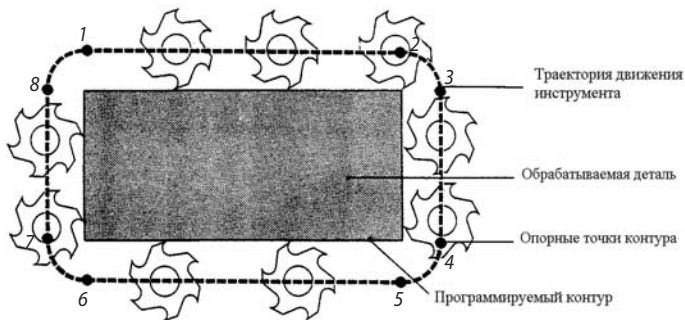


Рис. 7.28. Траектория инструмента как совокупность опорных точек

В УП должны быть заложены величина и направление перемещения инструмента. Для этого положения опорных точек необходимо определить в той или иной системе координат. Наиболее распространенными системами координат являются: прямоугольная (декартова), цилиндрическая и сферическая. В примере, представленном на рис. 7.29, показаны координаты опорных точек в декартовой системе координат.

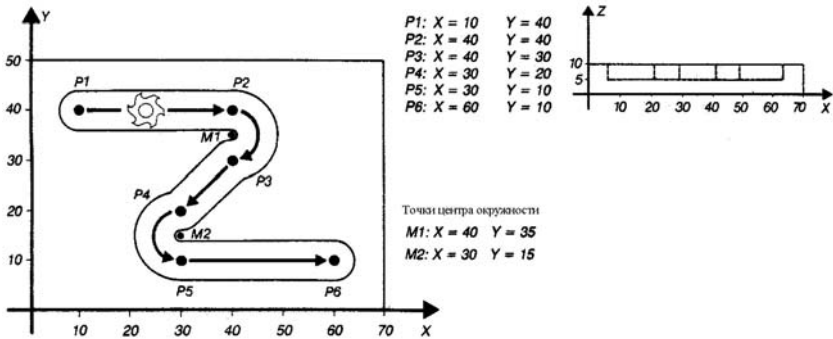


Рис. 7.29. Пример задания опорных точек эквидистанты $P1$ – $P6$ в декартовой системе координат

Следует различать обработку плоских и объемных деталей. Обрабатывая *плоскую* деталь, инструмент перемещается в одной плоскости, и при этом используется одна или две координаты, например координата X и координата Y . При обработке *объемной* детали инструменту должна быть обеспечена возможность более сложных перемещений при наличии дополнительных управляемых координат, например координаты Z .

7.2.2. Правила формирования траекторий во вспомогательных переходах

1. Начальная точка врезания обычно отстоит на 1–2 мм от внешней границы припуска, конечная точка совпадает с начальной точкой инструментального перехода.
2. Начальная точка траектории выхода из зоны обработки совпадает с конечной точкой инструментального перехода.
3. Траектория холостого хода инструмента представляет собой совокупности отрезков траектории, соединяющих конечную точку траектории выхода из какого-либо инструментального перехода с начальной точкой врезания при выполнении следующего инструментального перехода.
4. При фрезеровании для врезания в припуск обрабатываемой детали выбирается выпуклый конструктивный элемент, подход к

вершине которого возможен по касательной (рис. 7.30, *a, б, в*). Подход к плоской поверхности осуществляется под малым углом $5-10^\circ$ (рис. 7.30, *г, е*) или по касательной окружности (рис. 7.30, *д*). Подход к контуру окна (выпуклой поверхности) осуществляется по дуге окружности, касательной к обрабатываемому контуру или поверхности (рис. 7.31).

5. В случае подхода к обрабатываемой поверхности с перемещением по оси *Z* наиболее производительной является вертикальное врезание при использовании фрез с осевым врезанием. При значительном припуске врезание следует проводить либо с предварительным опусканием инструмента в заранее высверленное отверстие (рис. 7.32, *a*) либо зигзагообразным движением инструмента под углом $10-15^\circ$ (рис. 7.32, *б*), по спирали (рис. 7.32, *в*).

6. Не допускается остановка фрезы или резкое изменение подачи в процессе резания, когда режущие кромки инструмента соприкаса-

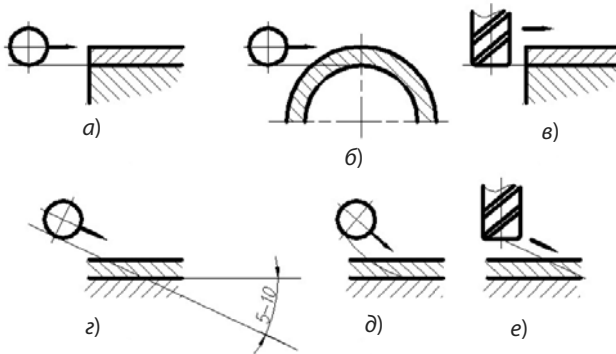


Рис. 7.30. Формирование траектории врезания:
a, б, в, д — подход инструмента к обрабатываемой поверхности по касательной;
г, е — подход инструмента к обрабатываемой поверхности под углом

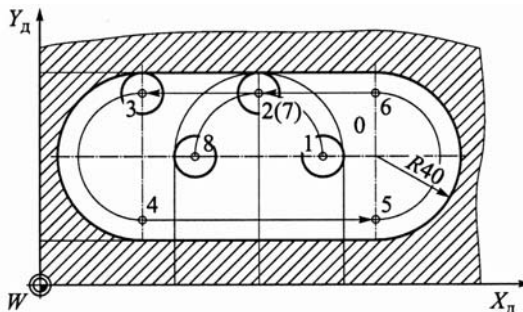


Рис. 7.31. Формирование траектории врезания при обработке внутреннего контура

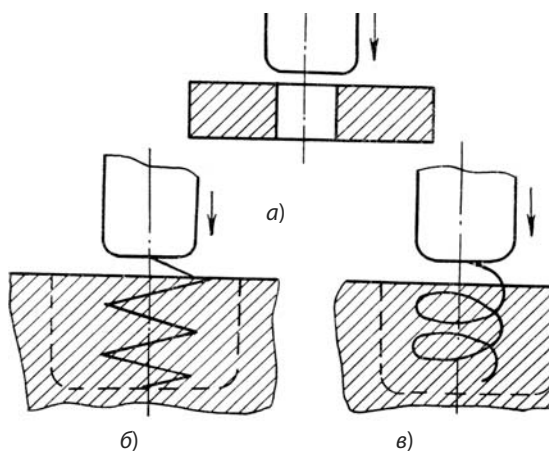


Рис. 7.32. Формирование траектории врезания с перемещением по оси Z: а — опускание в заранее просверленное отверстие; б — зигзагообразным движением инструмента; в — по спирали

ются с обрабатываемой поверхностью. Перед остановкой, изменением режима подачи, подъемом или опусканием инструмента необходимо обеспечить отвод инструмента от поверхности.

7.2.3. Правила формирования траекторий рабочих перемещений в инструментальных переходах

При выборе формы траекторий рабочих перемещений инструментов учитывают такие факторы, как:

- конструктивные особенности участка обработки (наличие препятствий по контуру плоскости, жестких элементов);
- метрические и топологические характеристики обрабатываемой плоскости и ее контура (площадь, многосвязность, вид контура);
- тип кривых, составляющих контур;
- марка обрабатываемого материала;
- состояние заготовки (штамповка, прокат, литье и т.д.);
- динамические характеристики станка, например разность скоростей рабочих органов при изменении направления траектории инструмента.

Наиболее распространенные формы траекторий рабочих перемещений приведены: в табл. 7.3 — для точения; в табл. 7.4 — для обработки отверстий; в табл. 7.5 — для обработки фрезерованием.

При разработке плана операций построение траекторий рабочих перемещений в инструментальных переходах производится с учетом следующих правил.

Таблица 7.3

Формы траекторий инструмента при точении

Основные зоны обработки		
Обработка открытых зон	Обработка полукрытых зон	Обработка закрытых зон
Траектория «петля»		
Траектория «виток»		
Траектория «спуск»		
Дополнительные зоны обработки		
Специальные траектории		
<p>Обработка угловых канавок</p>	<p>Обработка канавок для колес</p>	<p>Обработка канавок для шкивов</p>
<p>Обработка наружных проточек</p>	<p>Обработка прямых канавок</p>	

Таблица 7.4

Формы траекторий инструмента при обработке отверстий

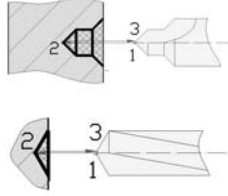

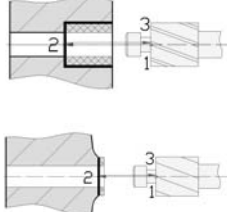
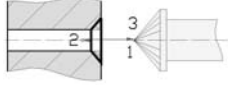
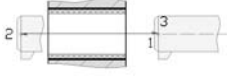
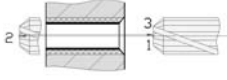
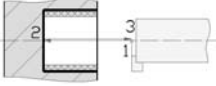
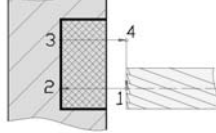
<p>Центрование центровочным или спи- ральным сверлом</p> 	<p>Сверление, зенкерование, развертывание</p> 	<p>Зенкерование донным резцом, цекование</p> 
<p>Зенкование фаски</p> 	<p>Растачивание отверстия</p> 	<p>Нарезание резьбы</p> 
<p>Растачивание глухого отверстия</p> 		<p>Фрезерование отверстия концевой фрезой</p> 

Таблица 7.5

Формы траекторий инструмента при фрезеровании

Зоны обработки			
Открытые зоны			
			

Зоны обработки		
Полуоткрытые зоны		
<p>Траектория обработки выступа левой антиспиралью</p>	<p>Траектория обработки кармана левой ленточной спиралью</p>	<p>Траектория выборки массива «правой строкой»</p>
<p>Траектория обработки выступа правой антиспиралью</p>	<p>Траектория обработки кармана правой ленточной спиралью</p>	<p>Траектория выборки массива «левой строкой»</p>
Закрытые зоны		
<p>Траектория обработки колодца левой спиралью</p>	<p>Траектория обработки колодца эквидистантными контурами</p>	<p>Траектория подхода фрезы к плоской поверхности по касательной окружности</p>
<p>Траектория обработки колодца правой спиралью</p>	<p>Траектория подхода фрезы к плоской поверхности под малым углом</p>	

1. В целях снижения коробления и предупреждения зарезов обработка конструктивного элемента детали производится от менее жесткого участка к более жесткому. Например, обработка колодца

должна начинаться из центра, а кармана — с середины открытой стороны.

2. Последний чистовой проход выполняется со снятием припуска не более $(0,1-0,2)D_{\text{фр}}$.

3. При обработке внешнего контура детали применяется попутное фрезерование, т.е. обход внешнего контура по часовой стрелке, внутреннего контура — против часовой стрелки.

4. Обычно обработка контура производится за два или более прохода (черновая, получистовая и чистовая). При этом избегают отдельного программирования черновой обработки путем использования одной УП для чистовой и черновой обработки при применении разных диаметров фрез (рис. 7.33, а) и смещения исходной точки программы (рис. 7.33, б).

5. В случае обработки зеркально отображенных контуров на станке с ЧПУ можно получить контур левой части по УП, записанной для правой части, путем переключения полярности сигналов управления. При этом изменяют направление вращения шпинделя станка на обратное и выбирают леворежущий инструмент (вместо праворежущего).

6. Расстояние h между соседними проходами при торцовой обработке концевыми фрезами в случае применения траектории типа «строка», «спираль» и «ленточная спираль» (рис. 7.34, а, б) выбирается из условия достаточного перекрытия соседних проходов по формуле

$$h = D_a K_{\text{п}},$$

где D_a — активный диаметр фрезы, $D_a = D - 2r$; r — радиус заточки фрезы; $K_{\text{п}}$ — коэффициент перекрытия.

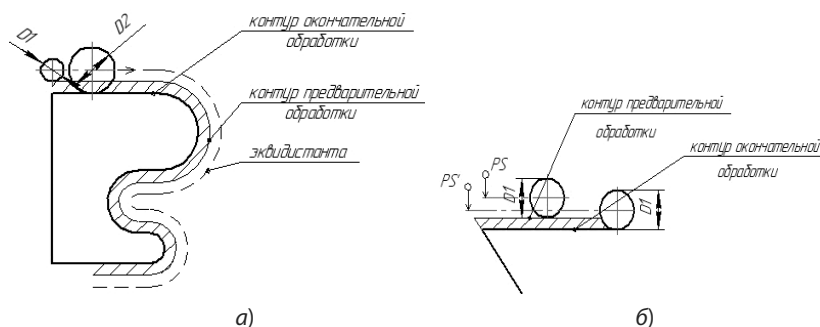


Рис. 7.33. Возможности применения одной программы для проведения черновой и чистовой обработки контура детали:
а — использованием разных диаметров фрез; б — смещением исходной точки программы P_s

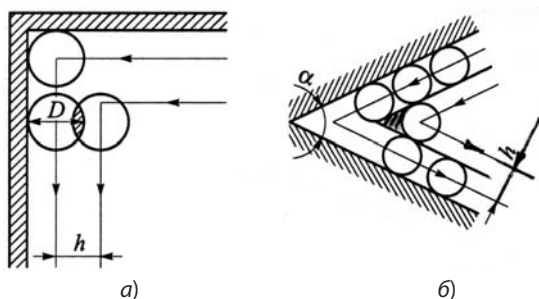


Рис. 7.34. К расчету расстояния h между проходами траекторий:
 a — для траекторий типа «строка»; b — для траекторий типа «спираль», «ленточная спираль»

Для траектории «строка» при чистовой обработке $K_{\text{п}} = 0,9 \dots 0,95$. Для траектории «спираль» и «ленточная спираль» на детали может появиться недорез в случае, например, обработки угловой поверхности. Поэтому принимают $K_{\text{п}} = (1 + \sin \alpha / 2) / 2$, где $\alpha / 2$ — наименьший угол, образованный сторонами обрабатываемого контура (см. рис. 7.34, б).

7. Расстояние a необходимого выхода инструмента за открытую границу контура из условия полной обработки поверхности при использовании траектории типа «строка» и «ленточная спираль» с $h = 0,9D_a$ определяется по формуле

$$a = h / (2 \operatorname{tg} \beta),$$

где h — шаг строки; β — угол между линией траектории «строка» и открытой стороной контура детали (рис. 7.35).

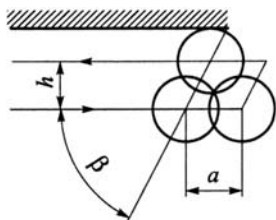


Рис. 7.35. К расчету выхода инструмента за границу обрабатываемого контура a при использовании траекторий типа «строка» и «ленточная спираль»

7.2.4. Разработка расчетно-технологической карты. РТК изготовления детали на станке с ЧПУ

Расчетно-технологическая карта (РТК) содержит все технологические решения, принятые на этапах технологической проработки, и представляет собой законченный проект обработки детали на станке с ЧПУ в виде графического изображения траектории движения инструмента со всеми необходимыми пояснениями и размерами.

При оформлении РТК используются обозначения, приведенные в табл. 7.6. По данным РТК рассчитываются УП обработки детали.

Оформление РТК производится в следующей последовательности:

- 1) деталь вычерчивают, и назначается система координат детали W ;
 - 2) производится увязка размеров детали в данной системе координат W ;
 - 3) выбирается исходная точка программы P_S ;
 - 4) намечается расположение прижимов и зон крепления в соответствии с рекомендациями по выбору оснастки;
 - 5) выбирается последовательность обработки элементов детали, параметры режущего инструмента и заносятся в таблицу РТК;
 - 6) наносятся траектории движения инструментов (построение эквидистанты), при этом началом и концом траектории является исходная точка программы P_S ;
 - 7) на траектории движения отмечают (цифрами или буквами) опорные точки траектории и ставятся стрелки направления движения инструмента;
 - 8) указываются опорные точки, где происходит останов инструмента (для смены инструмента, переключения числа оборотов шпинделя, перезажима детали) с указанием продолжительности в секундах;
 - 9) проставляются рассчитанные режимы резания в таблицу РТК;
 - 10) буквами или цифрами наносятся дополнительные данные.
- РТК обработки на станке с ЧПУ детали «рычаг» показана на рис. 7.36.

Таблица 7.6

Обозначения, используемые при оформлении РТК

	Исходные точки программы		Перемещение фрезы с одновременным опусканием
	Точки остановки инструмента		Центр сечения базирующего штифта оснастки
	Вертикальный подъем инструмента (на 20 мм)		Траектория холостого хода (х.х.)
	Вертикальное опускание инструмента (на 20 мм)		Траектория рабочего хода (р.х.)
	Перемещение фрезы с одновременным подъемом		

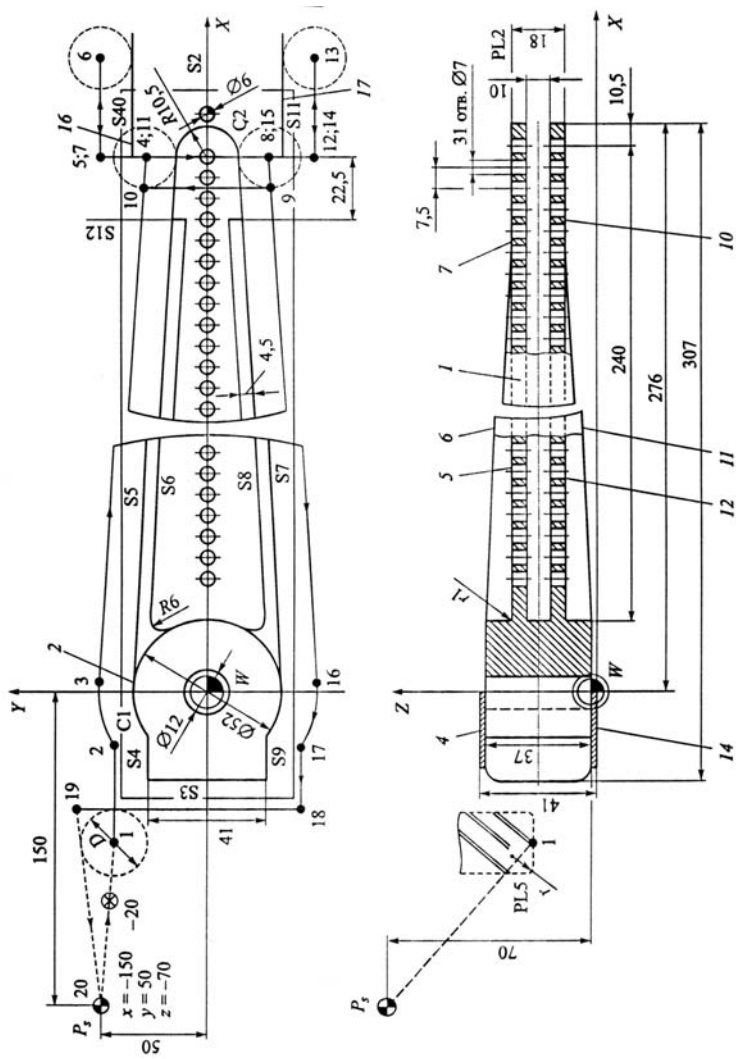


Рис. 7.36. Расчетно-технологическая карта изготовления детали «рычаг»

№ программы	Базирование	Номер операции	Вид перехода	$D_{ин}$		l	z	Материал		B_{max}		t_{max}^*		Припуск, мм		n , мин ⁻¹	v_c , мм/мин	Содержание инструментального перехода
				r	l			z	B_{max}	t_{max}^*	по дну	по ребру						
													мм	мм				
1606-81-01	Отверстия $\varnothing 6$ и $\varnothing 12$ мм, плоскость 14	1	01	30	1	80	2	P18	30	41/2	1	1	1025	232	Черное фрезерование внешнего контура 2, плоскостей 16, 17, 4, ребер 6, плоскости 7			
1606-81-02	То же	1	02	30	1	80	2	P18	30	14	2	2	1150	500	Выборка массива контура 5			
1606-81-03	То же, плоскость 4	1	03	30	1	80	2	P18	30	14	1	1	1023	444	Черное фрезерование плоскости 14, ребер 11, плоскости 10			
1606-81-02	»	1	04	30	1	80	2	P18	30	14	2	2	1150	500	Выборка массива контура 12			
1606-81-04	»	1	05	12	1	40	2	P18	12	1	1	1	3060	413	Черное фрезерование дна и ребер внутреннего контура 12			
1606-81-05	»	1	06	12	1	40	2	P18	12	1	0	0	3060	413	Чистовое фрезерование дна и ребер внутреннего контура 12, плоскости 14, ребер 11, плоскости 10			
1606-81-06	»	2	07	6.7	—	40	2	P6 K5	—	18	—	0,3	999	120	Сверление 31 отв. $\varnothing 7$			
1606-81-07	Плоскость 16, упоры	2	08	4	—	60	—	P18	—	52	—	2	999	60	Зацентровка паза 1			
	То же	2	09	4	—	60	—	P18	—	52	—	2	999	60	Сверление паза 1			

№ программы	Базирование	Номер операции	Вид перехода	$D_{ин}$		r	l	z	Материал инструмента		B_{max} t_{max}^*		Припуск, мм		n , мин ⁻¹	v_s , мм/мин	Содержание инструментального перехода
				$D_{ин}$	r				по дну	по ребру	мм	мм	по дну	по ребру			
1606-81-08	»	1	09	8	1	75	4	P18	8	25	0	0,1	2745	740	Черновое фрезерование паза 1		
	»	1	10	10	1	75	4	P18	10	25	0	0	2745	740	Чистовое фрезерование паза 1		
1606-81-05	Отверстия $\varnothing 6$ и $\varnothing 12$ мм, плоскость 14	1	11	12	1	40	2	P18	12	1	0	0	3060	413	Чистовое фрезерование плоскости 7, плоскости 4, ребер 6, дна и ребер внутреннего контура 5		
																12	30

Примечание. В таблице приведены следующие обозначения: l — длина режущей части инструмента; B_{max} , t_{max} , t_{max}^* — ширина и глубина обработки.

* В скобках указано число проходов.

Рис. 7.36. (окончание)

РАЗДЕЛ 8

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ПОДГОТОВКА УП. РАСЧЕТ И КОДИРОВАНИЕ ИНФОРМАЦИИ

8.1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ РАСЧЕТА УПРАВЛЯЮЩИХ ПРОГРАММ

8.1.1. Интерполяция

Исходной информацией этапа расчета и кодирования траекторий движения инструментов являются данные РТК. Вначале определяются координаты опорных точек, т.е. точек, в которых изменяются геометрические или технологические параметры траекторий.

Кодирование информации о траектории движения инструмента производится в УП в виде последовательности кадров УП. Каждый кадр УП состоит из «слов», определяющих значение перемещений по координате X , Y , Z , вводится в систему ЧПУ станка и обрабатывается специальными алгоритмами интерполяции, обслуживающими тот кадр программы, который в данный момент времени является рабочим. Интерполяционные вычисления производятся для того, чтобы получить информацию, необходимую для управления приводами подачи станка для движения по заданной траектории, в декодированной форме и с определенной точностью.

Если перемещение инструмента происходит по кривой, она сначала аппроксимируется СЧПУ ломаной линией, число участков которой определяется в зависимости от требуемой точности обработки.

Аппроксимация — процесс замены одной функциональной зависимости другой с определенной степенью точности (рис. 8.1). Процесс аппроксимации нужен для того, чтобы станок мог обработать криволинейные участки перемещением рабочих органов по соответствующим координатам (X , Y , Z). В процессе аппроксимации геометрический элемент траектории (см. п. 7.2.1), ограниченный опорными точками, разбивается на элементарные участки, называемые участками аппроксимации. Участок аппроксимации дуг окружностей удобно выражать величиной угла φ . Точки, разграничивающие *участки аппроксимации*, называются *вспомогательными опорными точками*. Точность аппроксимации тем выше, чем меньше длина участков аппроксимации. Величина участков рассчитывается исходя из заданной величины точности аппроксимации, которая определяется стрелкой прогиба — максимальным отклонением аппроксимирующей линии от аппроксимируемой поверхности (см. рис. 8.1).



Рис. 8.1. Аппроксимация дуги окружности

Функцией интерполяции является преобразование двоично-десятичного кода кадров УП в унитарный код управления приводом. *Унитарный код* — это последовательность импульсов, количество которых определяет заданную величину перемещения, а частота следования — подачу рабочего органа станка. При интерполяции выдается совокупность импульсов унитарного кода в каждый момент времени, что определяет текущее положение рабочего органа станка с точностью, зависящей от принятой цены импульса (дискретности УЧПУ).

Интерполяция — процесс получения с требуемой точностью координат промежуточных точек траекторий по координатам крайних вспомогательных опорных точек аппроксимируемого контура и заданной функции интерполяции (рис. 8.2).

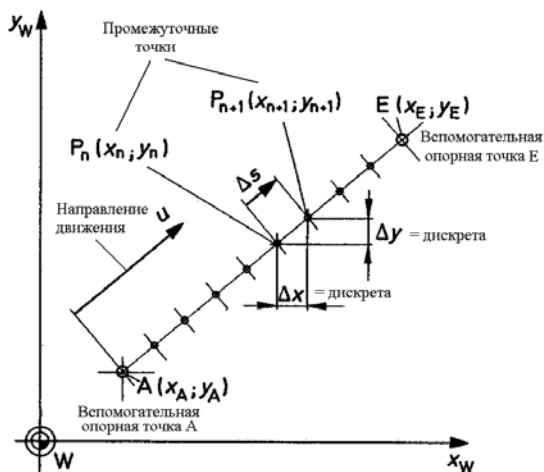


Рис. 8.2. Интерполирование поверхности

Линейная интерполяция — движение инструмента по прямой линии (рис. 8.3).

Ввиду того что информация о перемещении по координатам выдается дискретно, действительная траектория перемещения будет представлять собой ступенчатую форму. Величина погрешности интерполяции зависит от соотношения величин перемещения по координатным осям, т.е. от длины и угла наклона отрезка прямой.

Линейная интерполяция методом оценочной функции. Интерполируемая прямая OA (рис. 8.3, *a*) разделяется плоскостью XU на две области: $F > 0$ (где значения оценочной функции F положительны) и $F < 0$ (где значения оценочной функции F отрицательны). Область $F > 0$ находится над прямой, область $F < 0$ — ниже нее; интерполируемый отрезок OA представляет собой область, где $F = 0$.

Если промежуточная точка траектории интерполяции (например, точка с координатами x_1, y_1) находится в области $F > 0$, то следующий

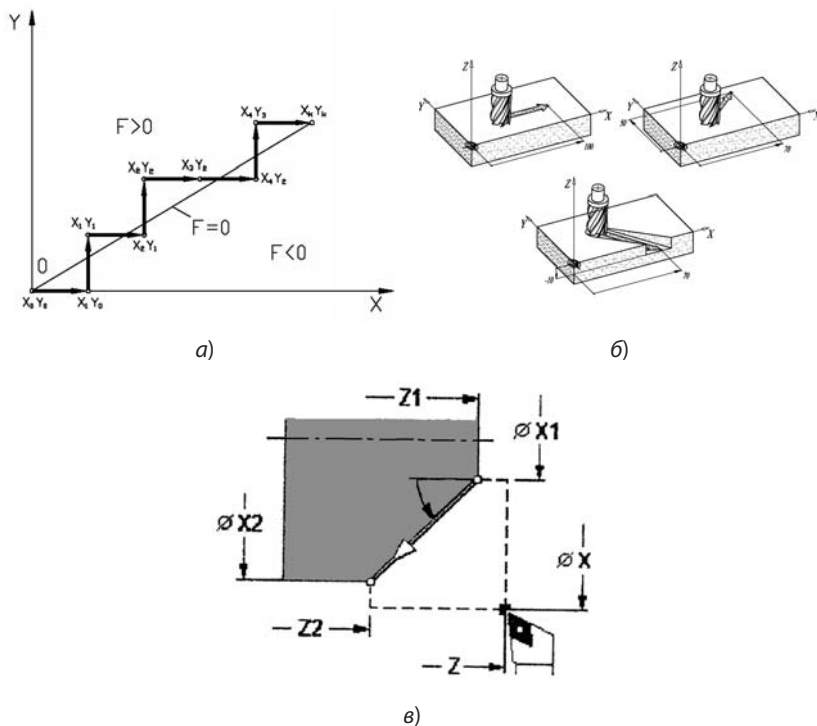


Рис. 8.3. Линейная интерполяция:

a — линейная интерполяция методом оценочной функции; *b* — движение инструмента при фрезеровании по управляемым координатам X, Y, Z ; *в* — движение инструмента при точении по управляемым координатам X, Z

шаг (перемещение на одну дискрету) дается по оси X . Если же промежуточная точка траектории, например точка с координатами x_2, y_1 , находится на области $F < 0$, то следующий шаг (перемещение на одну дискрету) дается по оси Y .

Начало интерполируемого отрезка всегда находится в начале координат. При этом начальная точка траектории интерполяции находится в начале интерполируемого отрезка (в области $F = 0$) и имеет координаты $x_0 = 0, y_0 = 0$.

Так как начальная точка траектории интерполяции находится в области $F = 0$, то первый шаг делается по оси X в точку с координатами $x_1 = 1, y_0 = 0$. Эта точка находится в области $F < 0$, поэтому следующий шаг делается по оси Y в точку с координатами $x_1 = 1, y_1 = 1$. Шаги делаются непрерывно (с частотой, определяемой блоком задания скорости) до тех пор, пока траектория интерполяции не достигнет конца отрезка с координатами x_k, y_k .

Величина и знак оценочной функции вычисляются интерполатором. Для каждой промежуточной точки траектории интерполяции (с координатами x_i, y_i) оценочная функция F_{ij} зависит от координат x_k, y_k конечной точки интерполируемого отрезка, вводимых в УП, и вычисляемых текущих координат x_i, y_i , т.е. $F_{ij} = y_j \cdot x_k - x_i \cdot y_k$.

Движения инструмента при линейной интерполяции в процессе фрезерования показаны на рис. 8.3, б, в процессе точения — на рис. 8.3, в.

Круговая интерполяция — движение инструмента по дуге (рис. 8.4).

Круговая интерполяция методом оценочной функции. Окружность, на которой расположен интерполируемый отрезок дуги, разделяет плоскость XU на две области: $F > 0$, лежащую вне круга, ограниченного окружностью, и $F < 0$, лежащую внутри круга, ограниченного окружностью; сама окружность представляет собой область, где $F = 0$. Интерполируемый отрезок дуги имеет начальную точку с координатами x_0, y_0 и конечную точку с координатами x_k, y_k (начало относительных координат находится в центре окружности) (рис. 8.4, а).

Если промежуточная точка траектории интерполяции (например, точка с координатами x_1, y_3) находится в области $F > 0$, то следующий шаг делается по оси X . Если промежуточная точка траектории интерполяции (например, точка с координатами x_2, y_3) находится в области $F < 0$, то следующий шаг делается по оси Y .

При интерполяции дуги окружности из точки с координатами x_i, y_i в точку с координатами x_{i+1}, y_i координата $x_{i+1} = x_i - 1$.

При шаге по оси Y из точки с координатами x_i, y_j в точку с координатами x_i, y_{i+1} координата $y_{i+1} = y_i + 1$.

При круговой интерполяции координаты начальной точки траектории (x_0, y_0) определяются по формуле

$$x_0^2 + y_0^2 = R^2,$$

где R — радиус интерполируемой дуги окружности.

Оценочная функция в начальной точке траектории равна $F_{00} = 0$, а в промежуточной точке траектории $F_{ij} = x_i^2 + y_j^2 - R^2$.

Движение инструмента при круговой интерполяции в процессе фрезерования показано на рис. 8.4, б, в процессе точения — на рис. 8.4, в.

Система ЧПУ может перемещать инструмент по прямым и круговым траекториям (дугам) в ходе обработки. Это действие будет в дальнейшем упоминаться как «интерполяция».

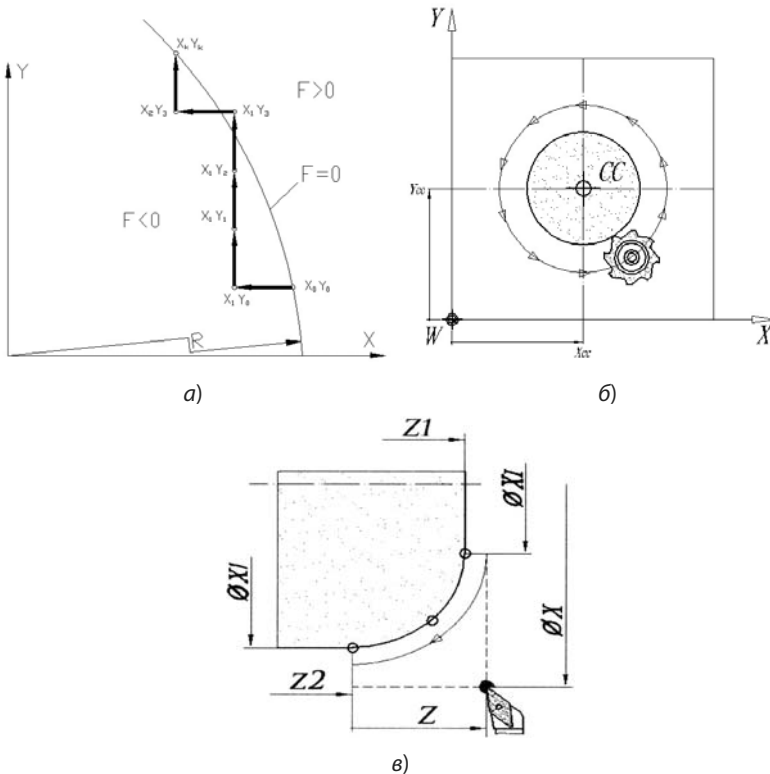


Рис. 8.4. Круговая интерполяция:

а — круговая интерполяция методом оценочной функции; б — движение инструмента при фрезеровании; в — движение инструмента при точении

- можно программировать кадры различной длины (макс. 100 знаков/кадр);
- последовательность слов любая;
- слова «номер кадра» должны всегда стоять в начале кадра.

НОМЕРА КАДРОВ:

- первое слово кадра программы — номер кадра;
- он состоит из буквы адреса N и 4-значной цифровой последовательности;
- номера кадров могут программироваться от 1 до 9999.

ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ:

- номера кадров должны программироваться в возрастающей последовательности;
- один номер кадра может быть запрограммирован в отдельном кадре только один раз.

ШАГИ:

- рекомендуется программировать номера кадров с шагом 2, 5 или 10;
- чем больше шаг, тем больше можно включить дополнительных кадров в режиме «Редактирование».

Примеры: N2... или N5... или N10...

- N4... N10... N20...
- N6... N15... N30...
- N8... N20... N40

«СТОП» В КОНЦЕ ПРОГРАММЫ:

- в конце программы в качестве последнего слова последнего кадра в УП программируется M02;
- сразу после ввода последнего кадра происходит останов кассеты или перфоленты;
- устройство ввода останавливается на последнем знаке.

«ОБРАТНАЯ ПЕРЕМОТКА» В КОНЦЕ ПРОГРАММЫ:

- в конце программы в качестве последнего слова последнего кадра может программироваться M30;
- сразу после ввода последнего кадра происходит перемотка перфоленты или кассеты к началу программы.

КОНЕЦ ПРОГРАММЫ:

- после выполнения последнего кадра следует «КОНЕЦ ПРОГРАММЫ»;
- задается знаком « FE_0 ».

СТРУКТУРА КАДРА

СИМВОЛ:

- символ — это число, буква или знак, используемые для выражения информации;

Пример: I, G, %, 3, X, LF..

- используемые символы должны соответствовать символам, которые описаны в табл. 8.1, согласно ГОСТ 20999–83.

Таблица 8.1

Значения управляющих символов и знаков

Символ	Наименование	Значение
HT	Табуляция	Символ, управляющий перемещением действующей позиции печати в следующую, заранее определенную позицию на той же строке. Предназначен для управления устройствами печати при распечатке управляющей программы. УЧПУ не воспринимается
LF	Конец кадра	Символ, обозначающий конец кадра управляющей программы
%	Начало программы	Знак, обозначающий начало управляющей программы (используется также для остановки носителя данных при обратной перемотке)
(Круглая скобка левая	Знак, обозначающий, что следующая за ним информация не должна обрабатываться на станке
)	Круглая скобка правая	Знак, обозначающий, что следующая за ним информация должна обрабатываться на станке
+	Плюс	Математический знак
–	Минус	Математический знак
.	Точка	Десятичный знак
/	Пропуск кадра	Знак, обозначающий, что следующая за ним информация до первого символа «Конец кадра» может обрабатываться или не обрабатываться на станке (в зависимости от положения органа управления на пульте управления УЧПУ). Когда этот знак стоит перед символами «Номер кадра» и «Главный кадр», он действует на целый кадр управляющей программы
:	Главный кадр	Знак, обозначающий главный кадр управляющей программы

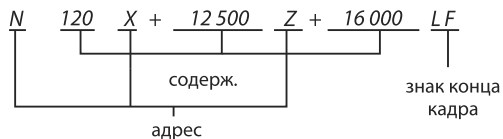
АДРЕС:

- структура кадра представляет собой запись адресов;
- адрес слова изображается адресной буквой (табл. 8.2);
- содержание слова изображается цифрами;

Значения символов адресов

Символ	Значение
A	Угол поворота вокруг оси X
B	Угол поворота вокруг оси Y
C	Угол поворота вокруг оси Z
D	Вторая функция инструмента
E	Вторая функция подачи
F	Первая функция подачи
G	Подготовительная функция
H	Запасная функция
I	Параметр интерполяции или шаг резьбы параллельно оси X
J	Параметр интерполяции или шаг резьбы параллельно оси Y
K	Параметр интерполяции или шаг резьбы параллельно оси Z
L	Запасная функция
M	Вспомогательная функция
N	Номер кадра
O	Запасная функция
P	Третичное перемещение, параллельное оси X
Q	Третичное перемещение, параллельное оси Y
R	Перемещение на быстром ходу по оси Z или третичное перемещение, параллельное оси Z
S	Функция главного движения
T	Первая функция инструмента
U	Вторичное перемещение, параллельное оси X
V	Вторичное перемещение, параллельное оси Y
W	Вторичное перемещение, параллельное оси Z
X	Первичное перемещение, параллельное оси X
Y	Первичное перемещение, параллельное оси Y
Z	Первичное перемещение, параллельное оси Z

- количество допустимых адресов и цифр зависит от конструкции устройства ЧПУ;

Пример:

- один адрес можно программировать в одном кадре только один раз;
- из двух одинаковых запрограммированных адресов будет действительным адрес, запрограммированный последним;

Пример: N130 X+1000 Z + 2000 M03 M04 LF

- в этом примере будет действовать только M04;

- рекомендуемая последовательность адресов в кадре: N, G, X, Y, Z, A, B, C, I, J, K, F, T, S, M, L.

СЛОВО:

- программное слово состоит из буквы адреса и последовательности цифр, означающих содержание слова;
- можно программировать слова различной длины;
- все цифровые значения, которые записаны за адресным словом, выражены своей системой измерения. В общем случае нули в начале и в конце могут быть опущены. Если величины имеют десятичную часть, она должна быть записана после десятичной точки;

Пример постоянной длины слова:

N0010 GOO X00005000 T01 S08 M03 LF

Тот же пример с переменной длиной слова:

N10 GO X5000 T1 S8 M3 LF

Тот же пример, запрограммированный с десятичной точкой:

N10 G0 X.5 T1 S8 M3 LF

- любое слово может быть пропущено, если оно не обязательно в кадре;
- отдельные слова могут располагаться в кадре в произвольном порядке;
- слово в одном кадре не должно повторяться.

ПРОГРАММИРОВАНИЕ УКАЗАНИЙ

СПЕЦИАЛЬНЫЙ ЗНАК «+»:

- положительный знак (плюс «+»);
- положительный знак можно, но не обязательно записывать;
- вся записанная без знака информация о длине пути считается положительной;
- если знак записывается, то его место — между буквой адреса и первым числом;

Пример: X2000 или X+2000

СПЕЦИАЛЬНЫЙ ЗНАК «-»:

- отрицательный знак (минус «-»);
- отрицательный знак нужно записывать всегда;
- отрицательный знак нужно записывать между буквой адреса и первым числом.

ЗНАК СТИРАНИЯ:

- для кода *ISO* «DEL»;
- если в перфоленте пробит неправильный знак, то знаком «DEL» его можно стереть.

ПРОПУСК КАДРА «/»:

- кадры, имеющие перед адресом номера кадра N знак «/» («Slash»), не выполняются системой ЧПУ, если выбран «ПРОПУСК КАДРА»;
- для ввода УП обработки детали в программное ЗУ «ПРОПУСК КАДРА» значения не имеет, т.е. кадры, обозначенные «/», также принимаются запоминающим устройством.

Пример:

N120 G0 X10 Z20 M3 LF

N130 G1 X0 Z + 1.25 LF

В приведенном примере кадр N120 пропускается и ЧПУ работает с кадром N130 дальше, если активен «ПРОПУСК КАДРА». Если «ПРОПУСК КАДРА» не активен, то кадр N120 выполняется обычным образом

ТАБУЛЯТОР:

- в коде *ISO* «HT»;
- табулятором нельзя пользоваться во время программирования указаний;
- табулятор является вспомогательным знаком для программиста, ЧПУ этот знак не нужен;
- знак табулятора можно ставить между отдельными словами программы, с его помощью улучшается обзор программы, но и увеличивается длина перфоленты на 25–30%.

ИНТЕРВАЛ:

- в коде *ISO* «SP»;
- интервал является вспомогательным знаком для программиста, ЧПУ он не нужен;
- интервал может стоять между отдельными словами программы;
- с его помощью улучшается обзор программы, но и увеличивается длина перфоленты.

ВОЗВРАТ КАРЕТКИ:

- в коде *ISO* «CR»;
- возврат каретки означает возврат к началу строки;
- ЧПУ этот знак не нужен, и он не обрабатывается.

ОТКРЫТИЕ (ЗАКРЫТИЕ) СКОБОК:

- «(» активирует, «)» закрывает специальную логику, т.е. специальную обработку введенных данных;
- между знаками открытых скобок «(» и закрытых скобок «)» можно программировать все знаки, за исключением знака конца кадра LF, M02, M30, табулятора и возврата каретки.

ЗВЕЗДОЧКА «*»:

- специальный знак, программируется перед «MSG» (*MSG = *Message*, указание) и «MZA» (*MZA = *Maschinenzustandanzeige*, индикация состояния станка);
- внутри указания этот знак функции не имеет.

ЗАПЯТАЯ «,»:

- специальный знак для специальной логики;
- обрабатывается в качестве знака кадра во время программирования указаний и индикации состояния станка;
- ставится после определения специальной логики (например, «*MSG» «E1» «Z22»).

ДЕСЯТИЧНАЯ ТОЧКА «.»:

- десятичная точка программируется в информации о длине пути, параметрах интерполяции и других словах с переменной длиной слов и разным количеством знаков;
- во время программирования указаний и индикации состояния станка обрабатывается, как знак кадра.

8.2.2. Типы кадров

В языке можно определить четыре типа кадров:

- комментирующие кадры;
- кадры *ISO*;
- кадры назначения;
- кадры с трехбуквенными кодами.

Комментирующий кадр дает возможность программисту вводить в программу фразы, описывающие функции, которые он должен выполнить, делая, таким образом, программу более легко читаемой. Такой кадр не учитывается в стадии выполнения программы. Формат состоит из последовательности алфавитно-цифровых символов, из которых первым элементом в обязательном порядке должен быть символ «;».

Пример: ;ЭТО — ПРИМЕР

Кадры ISO — это кадры, слова которых предусмотрены стандартом *ISO*.

Пример: G1 X500 Y20 F200

Кадры назначения — непосредственно в УП позволяют определить величину нескольких переменных параметров для вычисления либо задания геометрических элементов. Впоследствии эти параметры могут быть использованы в других кадрах УП. В зависимости от типа переменных кадры назначения могут быть:

- с переменными вычисления;

Пример: E30 = 28.5;

- с геометрическими переменными.

Пример: p2 = X10 Y25;

Кадры с трехбуквенными кодами — это кадры, в которых тип операции, выполнение которой предусмотрено, определен трехбуквенной командой (кодом). Можно вставить вовнутрь УП сообщение, заключенное в кавычки и предназначенное для оператора станка. Это сообщение программируется трехбуквенным кодом следующим образом:

Пример: (DIS, «текст сообщения»)

Текст сообщения не должен превышать 32 символа.

8.2.3. Ввод управляющих программ

УП, которую необходимо выполнить, должна быть занесена в память системы ЧПУ. Ввод УП в память может осуществляться с клавиатуры, перфоленты, дискеты или с ПК по каналу связи.

Если требуется ввод с перфоленты, то УП записывают на 8-дорожечной перфоленте шириной 25,4 мм по ГОСТ 10860–68. В соответствии с ГОСТ 13052–74 для представления информации на перфоленте используют 7-битный код.

Правильность ввода информации контролируют по четному количеству отверстий в строке перфоленты (контроль по паритету), а также по количеству строк в слове (контроль по структуре кадра). Для проверки по паритету используют восьмую дорожку, на которой пробивается дополнительное отверстие. На рис. 8.5 приведены символы и их кодовые комбинации при вводе УП с перфоленты. На рисунке в отверстиях указан номер пробиваемой дорожки.

8.2.4. Функции управляющей программы

Так как слова УП определяют конкретные действия, выполняемые станком с ЧПУ, их называют функциями.

Модальные и немодальные функции

Модальные функции. В УП значения некоторых адресных слов (функций) могут быть «унаследованы», пока не выдана противоположная команда или не дано некоторое другое значение соответствующей функции. Например, в части программы

N15 G90 G1 X20 Y30 F180

N16 X30

N17 Y100

статус G90 (абсолютное задание данных), G1 (линейная интерполяция) и значение F (подача), записанные в кадре N15, будут «унаследованы» в кадрах N16 и N17. Таким образом, нет необходимости определять эти функции в каждом кадре.

Немодальные функции (одноразовые). Действие некоторых функций или значения некоторых данных имеют силу только в отдельном кадре. Эти функции определяются как «немодальные» или одноразовые.

Подготовительные и вспомогательные функции

Подготовительные функции G. Определяют способ обработки информации, тип программирования и условия перемещения к заданной точке. Их задают адресом G и обозначают двухзначным десятичным кодовым числом. Подготовительные функции (G), допустимые для программирования в УЧПУ, представлены в табл. 8.3 и определены ГОСТ 20999–83. Значения подготовительной функции приведены в табл. 8.4. По функциональному назначению функции G можно разделить на классы, представленные в табл. 8.5.

Таблица 8.3

Подготовительные функции G

Подготовительная функция		Наименование
G00	Модальная	Быстрое позиционирование
G01	Модальная	Линейная интерполяция
G02	Модальная	Круговая интерполяция, движение по часовой стрелке
G03	Модальная	Круговая интерполяция, движение против часовой стрелки
G04	Немодальная	Пауза
G05		Не определена
G06		Параболическая интерполяция
G07	Модальная	Не определена
G08	Модальная	Разгон
G09	Модальная	Торможение
От G10 до G16	Модальные	Не определены
G17	Модальная	Выбор плоскости XY
G18	Модальная	Выбор плоскости ZX
G19	Немодальная	Выбор плоскости YZ
От G20 до G24	Модальные	Не определены
От G25 до G29	Модальные	Постоянно не определены
От G30 до G32	Немодальные	Не определены
G33		Нарезание резьбы
G34		Нарезание резьбы с увеличивающимся шагом
G35	Модальная	Нарезание резьбы с уменьшающимся шагом

Продолжение табл. 8.3

Подготовительная функция		Наименование
От G36 до G39	Модальные	Постоянно не определены
G40	Модальная	Отмена коррекции инструмента
G41		Коррекция на фрезу — левая
G42		Коррекция на фрезу — правая
G43		Коррекция на положение инструмента — положительная
G44	Модальная	Коррекция на положение инструмента — отрицательная
От G45 до G52	Модальные	Не определены
G53	Модальная	Отмена заданного смещения
G54	Модальная	Заданное смещение 1
G55	Модальная	Заданное смещение 2
G56	Модальная	Заданное смещение 3
G57	Модальная	Заданное смещение 4
G 58	Модальная	Заданное смещение 5
G59	Модальная/ немодальная	Заданное смещение 6
От G60 до G62		Смена столов-спутников
G63	Модальная	Нарезание резьбы метчиком
От G64 до G79	Модальные	Не определены
G80	Немодальная	Отмена постоянного цикла
G81	Модальная	Постоянный цикл 1
G82	Модальная	Постоянный цикл 2
G83	Модальная	Постоянный цикл 3
G84	Модальная	Постоянный цикл 4
G85	Модальная	Постоянный цикл 5
G86	Модальная	Постоянный цикл 6
G87	Модальная	Постоянный цикл 7
G88	Модальная	Постоянный цикл 8
G89	Модальная	Постоянный цикл 9
G90	Немодальная	Абсолютный размер
G91	Модальная	Размер в приращениях
G93	Модальная	Скорость подачи в функции, обратной времени
G94	Модальная	Подача в минуту
G95		Подача на оборот
G96		Постоянная скорость резания
G97		Обороты в минуту

Подготовительная функция	Наименование
G98	Не определена
G99	Не определена

Таблица 8.4

Значение подготовительных функций

Подготовительная функция	Наименование	Значение
G00	Быстрое позиционирование	Перемещение в запрограммированную точку с максимальной скоростью (например, с наибольшей скоростью подачи). Предварительно запрограммированная скорость перемещения игнорируется, но не отменяется. Перемещения по осям координат могут быть некоординированы
G01	Линейная интерполяция	Вид управления, при котором обеспечивается постоянное отношение между скоростями по осям координат, пропорциональное отношению между расстояниями, на которые должен переместиться исполнительный орган станка по двум или более осям координат одновременно. При прямоугольной системе координат перемещение происходит по прямой линии
G02 G03	Круговая интерполяция	Вид контурного управления для получения дуги окружности, при котором векторные скорости по осям координат, используемые для образования дуги, изменяются устройством управления
G02	Круговая интерполяция. Движение по часовой стрелке	Круговая интерполяция, при которой движение исполнительного органа направлено по часовой стрелке, если смотреть со стороны положительного направления оси, перпендикулярной к обрабатываемой поверхности

Продолжение табл. 8.4

Подготовительная функция	Наименование	Значение
G03	Круговая интерполяция. Движение против часовой стрелки	Круговая интерполяция, при которой движение исполнительного органа направлено против часовой стрелки, если смотреть со стороны положительного направления оси, перпендикулярной к обрабатываемой поверхности
G04	Пауза	Указание о временной задержке, конкретное значение которой задается в управляющей программе или другим способом. Применяется для выполнения тех или иных операций, протекающих известное время и не требующих ответа о выполнении
G06	Параболическая интерполяция	Вид контурного управления для получения дуги параболы, при котором векторные скорости по осям координат, используемые для образования этой дуги, изменяются устройством управления
G08	Разгон	Автоматическое увеличение скорости перемещения в начале движения до запрограммированного значения
G09	Торможение	Автоматическое уменьшение скорости перемещения относительно запрограммированной при приближении к запрограммированной точке
От G17 до G19	Выбор плоскости интерполяции	Задание плоскости таких функций, как круговая интерполяция, коррекция на фрезу и др.
G41	Коррекция на фрезу — левая	Коррекция на фрезу при контурном управлении. Используется, когда фреза находится слева от обрабатываемой поверхности, если смотреть от фрезы в направлении ее движения относительно заготовки

Подготовительная функция	Наименование	Значение
G42	Коррекция на фрезе — правая	Коррекция на фрезе при контурном управлении. Используется, когда фреза находится справа от обрабатываемой поверхности, если смотреть от фрезы в направлении ее движения относительно заготовки
G43	Коррекция на положение инструмента — положительная	Указание, что значение коррекции на положение инструмента необходимо сложить с координатой, заданной в соответствующем кадре или кадрах
G44	Коррекция на положение инструмента — отрицательная	Указание, что значение коррекции на положение инструмента необходимо вычесть из координаты, заданной в соответствующем кадре или кадрах
G53	Отмена заданного смещения	Отмена любой из функций G54 — G59. Действует только в том кадре, в котором она записана
От G54 до G59	Заданное смещение	Смещение нулевой точки детали относительно исходной точки станка
G80	Отмена постоянного цикла	Функция, которая отменяет любой постоянный цикл

Таблица 8.5

Список функций G, подразделенных на функциональные классы

Класс	Функции	Описание
A	G00—G01—G02—G03—G33	Определение типа движения
B	G17—G18—G19	Определение плоскости интерполяции
C	G27—G28—G29	Определение динамического режима («от точки к точке» или непрерывный режим)
E	G40—G41—G42	Активизация компенсации радиуса инструмента
F	G15—G16	Программирование в альтернативной системе измерения
G	G81—G86—G89—G80	Постоянные циклы обработки отверстия

Класс	Функции	Описание
Н	G90–G91	Программирование абсолютное/в приращениях
I	G79	Программирование относительно нуля станка
J	G04–G09	Свойства динамического типа
К	G72–G73–G74	Циклы измерения
I	G93–G94–G95	Скорость подач
М	G96–G97	Скорость вращения шпинделя

Вспомогательные функции М. В основном являются функциями управления станком. Их задают словом, содержащим адрес М, и обозначают двухзначным десятичным кодовым числом (табл. 8.6) согласно ГОСТ 20999–83. Значения вспомогательных функций М приведены в табл. 8.7.

Таблица 8.6

Вспомогательные функции М

M00	Программируемый останов
M01	Останов с подтверждением
M02	Конец программы
M03	Вращение шпинделя по часовой стрелке
M04	Вращение шпинделя против часовой стрелки
M05	Останов шпинделя
M06	Смена инструмента
M07	Включение охлаждения № 2
M08	Включение охлаждения № 1
M09	Отключение охлаждения
M10	Зажим
M11	Разжим
От M12 до M18	Не определены
M19	Останов шпинделя в заданной позиции
От M20 до M29	Постоянно не определены
M30	Конец информации
От M31 до M47	Не определены
M48	Отмена M49
M49	Отмена ручной коррекции
От M50 до M57	Не определены
M58	Отмена M59
M59	Постоянная скорость шпинделя
от M60 до M89	Не определены
от M90 до M99	Постоянно не определены

Когда функция на перемещения рабочего органа станка и вспомогательная функция М запрограммированы в одном кадре, вспомогательная функция выполняется по завершении перемещения. Вспомогательные функции М объединяют в следующие группы:

- M00, M01, M02, M30, M98, M99 — функции управления программой;
- M03, M04, M05 — функции управления шпинделем;
- M06 — функции смены инструмента;
- M08, M09 — функции управления охлаждением;
- M38, M39, M13, M14 — функции выбора диапазона скорости шпинделя.

Таблица 8.7

Значение вспомогательных функций

Вспомогательная функция	Наименование	Значение
M00	Программируемый останов	Остановка без потери информации по окончании отработки соответствующего кадра. После выполнения команд происходит останов шпинделя, охлаждения, подачи. Работа по программе возобновляется нажатием кнопки
M01	Останов с подтверждением	Функция аналогична M00, но выполняется только при предварительном подтверждении с пульта управления
M02	Конец программы	Указывает на завершение отработки управляющей программы и приводит к останову шпинделя, подачи и выключению охлаждения после выполнения всех команд в кадре. Используется для приведения в исходное состояние УЧПУ и (или) исходное положение исполнительных органов станка
M03	Вращение шпинделя по часовой стрелке	Включает шпиндель в направлении, при котором винт с правой нарезкой, закрепленный в шпинделе, входит в заготовку
M04	Вращение шпинделя против часовой стрелки	Включает шпиндель в направлении, при котором винт с правой нарезкой, закрепленный в шпинделе, выходит из заготовки

Окончание табл. 8.7

Вспомогательная функция	Наименование	Значение
M05	Останов шпинделя	Останов шпинделя наиболее эффективным способом. Выключение охлаждения
M06	Смена инструмента	Команда на смену инструмента вручную или автоматически (без поиска инструмента). Может автоматически отключить шпиндель и охлаждение
M07	Включение охлаждения № 2	Включение охлаждения № 2 (например, масляным туманом)
M08	Включение охлаждения № 1	Включение охлаждения № 1 (например, жидкостью)
M09	Отключение охлаждения	Отменяет M07, M08
M10	Зажим	Относится к работе с зажимным приспособлением подвижных органов станка
M11	Разжим	То же
M19	Останов шпинделя в заданной позиции	Вызывает останов шпинделя при достижении им определенного углового положения
M30	Конец информации	Приводит к останову шпинделя, подачи и выключению охлаждения после выполнения всех команд в данном кадре. Используется для установки в исходное состояние УЧПУ и (или) исходное положение исполнительных органов станка. Установка в исходное положение УЧПУ включает в себя возврат к символу «Начало программы»
M49	Отмена ручной коррекции	Функция, указывающая на отмену ручной коррекции скорости подачи и (или) скорости главного движения и о возвращении этих параметров к запрограммированным значениям
M59	Постоянная скорость шпинделя	Поддержание постоянным текущего значения скорости шпинделя независимо от перемещения исполнительных органов станка и задействованной функции G96

РАЗДЕЛ 9

ОПИСАНИЕ ФУНКЦИЙ ПРОГРАММИРОВАНИЯ

При описании программируемых кадров будут встречаться следующие обозначения:

- все элементы, заключенные в [], должны рассматриваться как необязательные;
- все элементы, заключенные в { }, должны рассматриваться как альтернативные.

9.1. ТИП ПРОГРАММИРОВАНИЯ

9.1.1. Программирование в абсолютной системе, по приращениям, относительно нуля станка (G90, G91, G79)

Функциями, определяющими тип программирования (в абсолютной системе, по приращениям, относительно нуля станка, в полярных координатах) являются:

- G90 — программирование в абсолютной системе (движения относительно фактической начальной точки);
- G91 — программирование в системе по приращениям (движения относительно последнего местоположения);
- G79 — программирование относительно нуля станка.

Общий формат:

```
{G90}  
{G91} [другие G] [команды]  
{G79}
```

9.1.1.1. Задание перемещений в абсолютных значениях (G90)

Когда перемещения заданы по функции G90, инструмент перемещается на расстояние, считаемое от точки начала системы координат детали (нуля детали) к точке, позиция которой была определена координатами (рис. 9.1, а).

Команды G90 X50 Y80 Z40 в данном примере переместят инструмент в точку вышеуказанной позиции независимо от того, какую позицию занимает инструмент в предыдущем кадре.

G90 является модальной функцией. Программируется с путевой информацией и без нее.

Формат: G90 [другие команды]

Пример G90 (рис. 9.2):

N10 G90 F3000	
N20 G1 X120 Y50 F300	P0 → P1
N30 Y20 I-5 F200	P1 → P2
N40 G2 X115 Y15 F400	P2 → P3
N50 G1 X80	P3 → P4
N60 X55 Y25	P4 → P5
N70 X30	P5 → P6
N80 Y60	P6 → P7
N90 X60	P7 → P8
N100 Y50	P8 → P9
N110 X80	P9 → P10
N120 Y60	P10 → P11
N130 X110	P11 → P12
N140 G2 X120 Y50 J-10 F200	P12 → P1
N150 G1 X160 Y40 F3000 M30	P1 → P13

9.1.1.2. Задание перемещений в приращениях (G91)

В случае задания данных в приращениях система управления интерпретирует координатные данные таким образом, что инструмент будет перемещаться на расстояние, считаемое от занятой позиции, заданной в предыдущем кадре (рис. 9.1, б).

Команды G91 X70 Y-40 Z-20 переместят инструмент на заданные расстояния по осям от предыдущей позиции инструмента.

G91 является модальной функцией. Стирает функцию G90. Не может быть использована с расточными циклами G81–G89.

Формат: **G91** [другие команды]

Пример G91 (см. рис. 9.2):

N10 G91	
N20 G1 X-40 Y-20 F3000	P0 → P1
N30 G1 Y-30	P1 → P2
N40 G2 X-5 Y-5 I-5 F200	P2 → P3
N50 G1 X-35 F800	P3 → P4
N60 X-25 Y-19	P4 → P5
N70 X-25	P5 → P6
N80 Y-35	P6 → P7
N90 X30	P7 → P8
N100 Y-10	P8 → P9
N110 X20	P9 → P10
N120 Y10	P10 → P11
N130 X30	P11 → P12
N140 G2 X10 Y-10 J-10 F200	P12 → P1
N150 G1 X40 Y-10 F3000 M30	P1 → P13

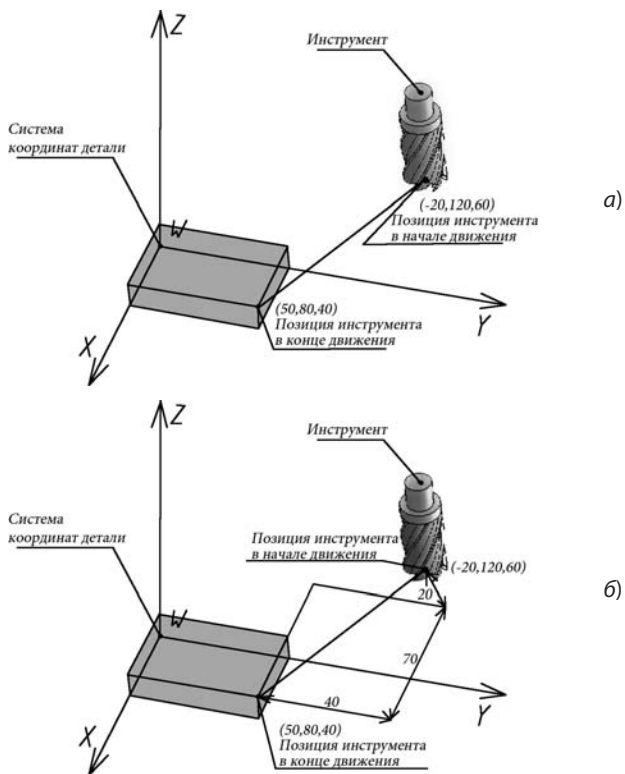


Рис. 9.1. Задание перемещений:

а — в абсолютных значениях (G90); б — в приращениях (G91)

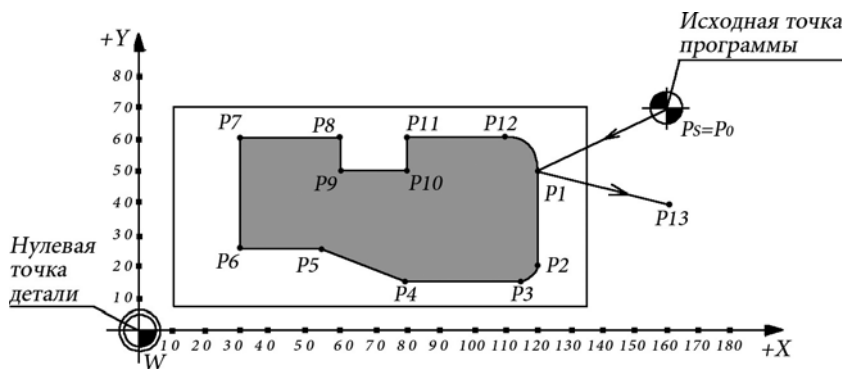


Рис. 9.2. Пример задания перемещений в абсолютных значениях (G90) и в приращениях (G91)

9.1.1.3. Задание перемещений относительно нуля станка (G79)

Когда перемещение задано по функции G79, инструмент перемещается на расстояние, считаемое от точки начала системы координат станка (нуля станка).

G79 является немодальной функцией. После программирования кадра с G79 система возвращается в состояние программирования (G90/G91), которое было активным в предыдущем кадре (G90/G91).

Формат: **G79** [другие команды]

Пример G79 (рис. 9.3):

N1 GXY	перемещение осей X, Y к нулевой точке детали W
N2 X30 Y40	перемещение осей X, Y к точке 1
N3 G91 X50 Y25	перемещение по приращениям к точке 2 ($X+50, Y+25$ относительно точки 1)
N4 X-71 Y12	перемещение осей к точке 3 ($X-71, Y+12$ относительно точки 2)
N5 G90 X110 Y35	перемещение осей к точке 4 ($X+110, Y+35$ относительно нулевой точки детали W)
N6 G79 X70 Y55	перемещение осей к точке 5 ($X+70, Y+55$ по отношению к нулю станка)

Если ни одна из функций G90, G91, G79 не запрограммирована, автоматически осуществляется программирование в абсолютной системе координат.

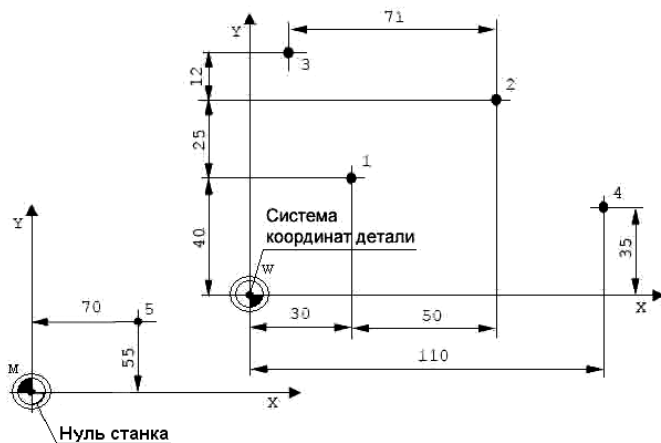


Рис. 9.3. Пример задания в программе подготовительных функций (G90, G91, G79)

9.2. ТИП ДВИЖЕНИЯ

Тип движения определяется функциями:

- G00 — быстрое позиционирование осей;
- G01 — линейная интерполяция;
- G02 — интерполяция круговая по часовой стрелке;
- G03 — интерполяция круговая против часовой стрелки;
- G33 — нарезание резьбы с постоянным или переменным шагом.

9.2.1. Быстрое позиционирование осей (G00)

Быстрое позиционирование осей G00 определяет линейный тип движения, скоординированный по всем осям, запрограммированным в кадре с быстрым ходом (рис. 9.4, а, б). G00 задает режим позиционирования в текущей системе координат. Позиционирование осуществляется по прямой линии при одновременном перемещении по всем осям, заданным в кадре. Информации о перемещении по оси может быть абсолютной и в приращениях.

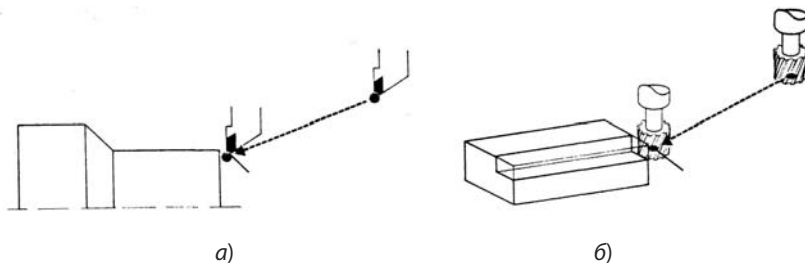


Рис. 9.4. Быстрое позиционирование осей (G00):
а — для точения; б — для фрезерования

Скорость позиционирования не может быть задана в программе, так как зависит от заданных в СЧПУ скоростей для каждой оси производителем станка. Когда разные оси начинают одновременное перемещение, результирующий вектор скорости рассчитывается системой ЧПУ таким образом, что позиционирование выполняется за минимальный интервал времени, а сама скорость не превышает максимально установленного значения для отдельной оси.

При выполнении функции G00 система рассчитывает линейное ускорение и торможение соответственно в начале и конце перемещения. Будучи модальной функцией, G00 остается эффективной до ввода другой функции интерполяции.

Формат:

G00 [другие G] [оси] [команды коррекции] [вспомогательные функции], где [другие G] — все другие функции G, совместимые с G00 (см. табл. 8.6 совместимости в кадре); [оси] — представлены адресом оси, за которым следует числовое значение. Могут присутствовать оси: $X, Y, Z, U, V, W, A, B, C$; [команды коррекции] — коэффициенты коррекции на плоскости (u, v, w); [вспомогательные функции] — вспомогательные функции M, S и T; в одном кадре можно программировать до четырех функций M и по одной функции S и T.

На рис. 9.5 дан пример быстрого позиционирования из начальной точки с координатами $X = 150; Y = 200; Z = 150$ в конечную точку с абсолютными значениями.

Пример G00:

- G00 X50 Y80 Z100** быстрое позиционирование в точку с координатами $X = 50; Y = 80; Z = 100$
- G00 X50 Y80 Z20** последующее быстрое позиционирование к точке с координатами $X = 50; Y = 80; Z = 20$

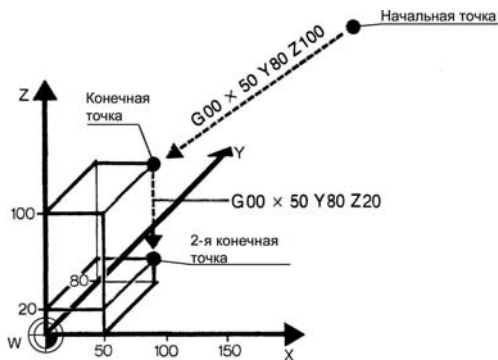


Рис. 9.5. Пример задания быстрого позиционирования рабочих органов станка (G00)

9.2.2. Линейная интерполяция (G01)

Линейная интерполяция G01 определяет линейное одновременное движение, скоординированное по всем осям. Осуществляют интерполяцию на прямолинейной части заданной кривой (рис. 9.6, а, б). Интерполируемую часть кривой называют участком интерполяции, и ее можно записать в одном или более кадрах программы.

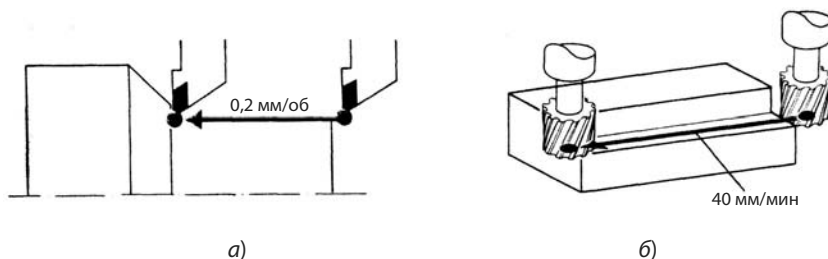


Рис. 9.6. Участок линейной интерполяции (G01):
 а — для точения; б — для фрезерования

Начальная точка каждого участка интерполяции совпадает с конечной точкой предыдущего. Используют систему координат детали, являющуюся правой прямоугольной декартовой системой.

Прямолинейный участок интерполяции задают одним кадром, который включает в себя:

а) подготовительную функцию G01 (если она не была запрограммирована перед этим);

б) параметры перемещения по координатам X , Y , Z (в абсолютных значениях или приращениях);

в) скорость обработки (подачи), заданную адресом F.

Скорость, заданная адресом F, будет поддерживаться на всем пути перемещения вдоль заданной траектории.

Формат:

G01 [оси] [команды коррекции] [скорость подачи] [вспомогательные функции],

где [оси] — представлены адресом оси, за которым следует числовое значение. Могут присутствовать оси: X , Y , Z , U , V , W , A , B , C ; [команды коррекции] — коэффициенты коррекции; [скорость подачи] — выражает рабочую скорость (F), с которой выполняется движение. В случае отсутствия используется ранее запрограммированная скорость. Это означает, что в предшествующих кадрах должна быть запрограммирована скорость. В противном случае подается сигнал ошибки; [вспомогательные функции] — вспомогательные функции M, S и T; в одном кадре можно программировать до четырех функций M и по одной функции S и T.

Пример G01 в приращениях (рис. 9.7, а):

Пусть $X_1 = -20$ мм, $Y_1 = 50$ мм, $X_2 = 60$ мм, $Y_2 = -10$ мм, $X_3 = -50$ мм, $Y_3 = -30$ мм.

Для перемещения из точки P_1 в точку P_3 требуется задать два кадра. Для первого кадра приращения по X (мм), Y (мм) соответственно равны:

$$X_2 - X_1 = 60 - (-20) = 80;$$

$$Y_2 - Y_1 = -10 - 50 = -60.$$

Для второго кадра приращения по X (мм), Y (мм) соответственно равны:

$$X_3 - X_2 = -50 - 60 = -110;$$

$$Y_3 - Y_2 = -30 - (-10) = -20.$$

Если дискретность УЧПУ составляет 0,01 мм, параметры перемещения равны:

- в первом кадре $X + 80$ мм, $Y - 60$ мм;
- во втором кадре $X - 110$ мм, $Y - 20$ мм.

Информация о перемещении рабочей органов в программе будет иметь вид

N001 G01 X+008000 Y - 006000 F0660 LF

N002 X-011000 Y - 002000 LF

Пример G01 в абсолютных координатах (рис. 9.7, б):

N79 G01 X10 Y10

N80 X90 Y40 F200 (в данном кадре F200 означает подачу со скоростью 200 мм/мин).

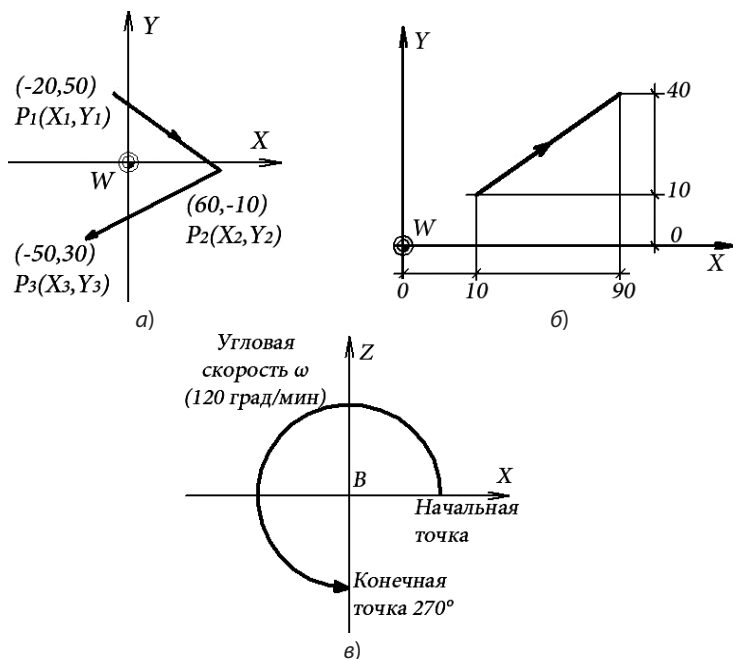


Рис. 9.7. Пример задания линейной интерполяции:

a — в приращениях; $б$ — в абсолютных координатах; $в$ — при использовании круговой оси B

Скорость вдоль круговой оси определяется в градусах в минуту (рис. 9.7, в):

N50 G01 B270 F120 (в данном кадре F120 означает поворот со скоростью 120 град/мин).

Будучи модальной функцией, G01 эффективна до перезаписи ее другой функцией интерполяции.

9.2.3. Круговая интерполяция (G02, G03)

Функции круговой интерполяции определяют круговое движение, которое является скоординированным и одновременным по всем осям с заданной скоростью обработки (рис. 9.8, а, б).

Кадры, описывающие участок круговой интерполяции, включает в себя задание:

- а) плоскости интерполяции;
- б) направления круговой интерполяции;
- в) данных об окружности, по которой осуществляется интерполяция;
- г) скорости обработки (подачи).

G02–G03 являются модальными функциями.

Общий формат, определяющий режим круговой интерполяции:

$$G17 \left\{ \begin{matrix} G02 \\ G03 \end{matrix} \right\} X_p Y_p \left\{ \begin{matrix} R \\ IJ \end{matrix} \right\} F;$$

$$G18 \left\{ \begin{matrix} G02 \\ G03 \end{matrix} \right\} X_p Y_p \left\{ \begin{matrix} R \\ IK \end{matrix} \right\} F;$$

$$G19 \left\{ \begin{matrix} G02 \\ G03 \end{matrix} \right\} X_p Y_p \left\{ \begin{matrix} R \\ JK \end{matrix} \right\} F.$$

Задание плоскости интерполяции (G17, G18, G19). Круговая интерполяция выполняется в плоскости интерполяции, определяемой кодами G17, G18, G19 (рис. 9.9).

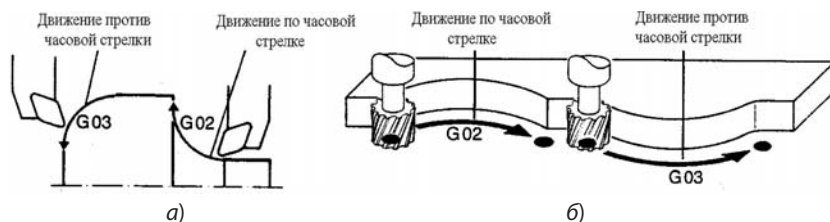


Рис. 9.8. Участки круговой интерполяции с направлением кругового движения G02,G03:

а — для точения; б — для фрезерования

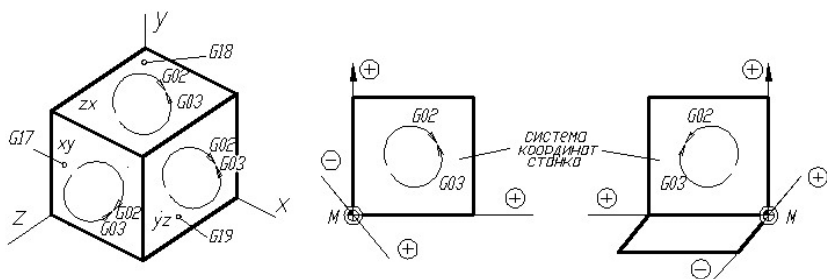


Рис. 9.9. Задание плоскостей G17, G18, G19 и направлений G02, G03 круговой интерполяции

Формат:

G17, G18, G19,

где **G18** — определяет плоскость круговой интерполяции, образованную осями X, Y ; **G18** — определяет плоскость круговой интерполяции, образованную осями X, Z ; **G19** — определяет плоскость круговой интерполяции, образованную осями Y, Z .

Задание направления кругового движения (G02–G03). Круговая интерполяция определяет круговое движение по часовой стрелке G02 или против часовой стрелки G03. Направление кругового движения (по часовой или против часовой стрелки) определяется, глядя на плоскость интерполяции со стороны положительной полуоси, перпендикулярно к плоскости, в соответствии с рис. 9.9.

Задание данных об окружности. Данные об окружности могут быть представлены двумя различными способами (рис. 9.10, а, б).

Первый способ позволяет СЧПУ автоматически построить окружность, дугу, если она задана конечной точкой дуги и радиусом (см. рис. 9.10, а).

Второй способ — если окружность задана своим центром в интерполяционной системе координат I, J, K и значением конечной точки дуги (см. рис. 9.10, б).

Задание скорости обработки. Скорость перемещения по контуру может быть запрограммирована по адресу F , определяется в направлении касательной к окружности и постоянна на всем пути перемещения.

Способ 1. Задание окружности конечной точкой и радиусом. Используется адрес R , где R есть радиус окружности, который может принимать как положительные, так и отрицательные значения. При перемещении по дуге больше 180° радиус R положительный. Система ЧПУ автоматически рассчитывает центр окружности от стартовой точки (точка, в которой система остановилась перед началом выполнения кадра, содержащего круговую интерполяцию), если задано положение конечной точки в системе координат детали (адреса X_p ,

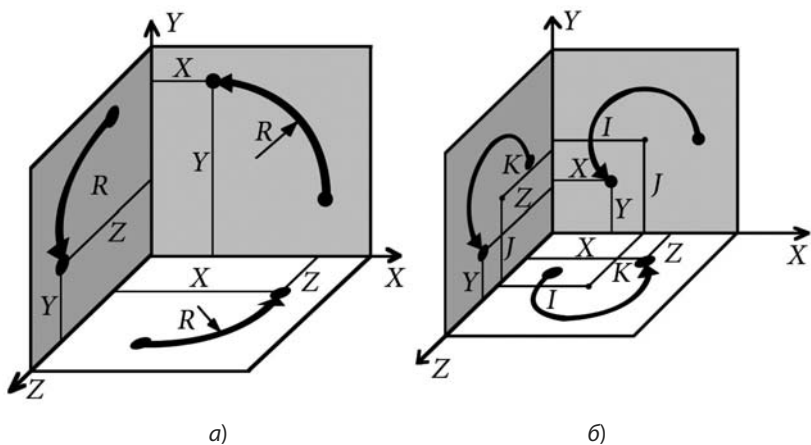


Рис. 9.10. Способы задания окружностей при программировании круговой интерполяции:

a — конечной точкой и радиусом окружности (первый способ); *б* — конечной точкой и центром радиуса окружности в интерполяционной системе координат *I, J, K* (второй способ)

Y_p, Z_p) и радиус окружности R . Так как через стартовую и конечную точки можно провести две окружности с радиусом R , то направление перемещения (функции $G02, G03$) и знак у радиуса определяют дугу окружности, по которой осуществляется перемещение (рис. 9.11, *a*).

G02 X50 Y40 R40	часть дуги 1
G02 X50 Y40 R-40	часть дуги 2
G03 X50 Y40 R40	часть дуги 3
G03 X50 Y40 R-40	часть дуги 4

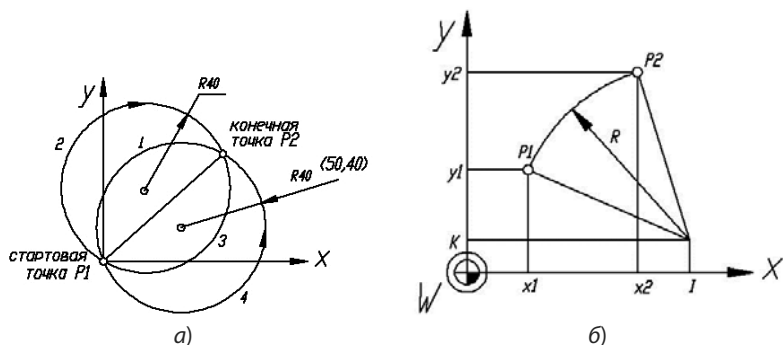


Рис. 9.11. Задание окружности конечной точкой и радиусом (первый способ): *a* — возможные варианты построения окружности через стартовую и конечную точки; *б* — координаты стартовой точки $P1$ и конечной точки $P2$ в системе координат детали

Под значениями X_p, Y_p, Z_p понимаются координаты конечной точки P_2 окружности, заданные в системе координат детали в абсолютном виде (рис. 9.11, б).

Формат:

{G02-G03} [оси] R± [скорость подачи] [команды коррекции] [вспомогательные функции].

где **[скорость подачи]** — скорость подачи; **[оси]** — представлены адресом оси и цифровым значением оси; **R** — адресное слово, выражающее радиус дуги окружности со значением; знак «+» или «-» перед адресным словом R выбирает одно из двух возможных решений:

«+» — для дуги до $179,999^\circ$;

«-» — для дуги от 180 до $359,999^\circ$;

[команды коррекции] — коэффициент коррекции;

[скорость подачи] — рабочая подача;

[вспомогательные функции] — вспомогательные функции M, S, T.

Пример задания круговой интерполяции способом 1 (рис. 9.12):

N10 G17 LF задание плоскости интерполяции X, Y ($P_1 \rightarrow P_2$)

N20 G02 X20 Y20 R+20 F100 LF обработка дуги 1 радиусом 20 ($P_1 \rightarrow P_2$)

N30 G02 X20 Y20 R-20 F100 LF обработка дуги 2 радиусом 20 ($P_1 \rightarrow P_2$)

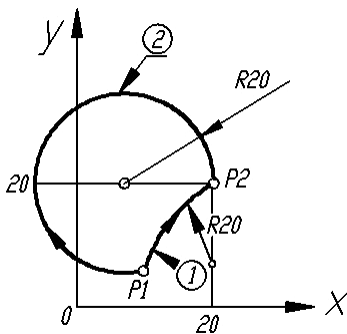


Рис. 9.12. Пример круговой интерполяции G02 при задании окружности конечной точкой и радиусом (способ 1)

Способ 2. Задание окружности конечной точкой и центром окружности в интерполяционной системе координат I, J, K . Интерполяционная система координат $0, I, J, K$ располагается в стартовой точке дуги, и направление ее осей совпадает с направлением координатных осей системы координат детали (рис. 9.13). Оси X соответствует интерполяционная ось I , оси Y — ось J , оси Z — ось K .

Центр окружности определяется значениями I, J, K в интерполяционной системе координат. Значение, задаваемое адресами I, J, K , всегда интерпретируются системой ЧПУ в приращениях.

Конечная точка дуги может описываться либо в абсолютных значениях, либо в приращениях.

Программирование дуги окружности производится через задание ее центра в интерполяционной системе координат I, J, K и координаты конечной точки дуги.

Формат:

$\{G02, G03\}$ [оси I,J,K] [скорость подачи] [команды коррекции] [вспомогательные функции].

Пример 1. Задание круговой интерполяции способом 2 (см. рис. 9.13).

Для дуг окружностей, заданных на рис. 9.13, круговая интерполяция может быть записана:

$G03 X10 Y10 I50 J20$ (рис. 9.13, а);

$G18: G03 X70 Z10 I20 K50$ (рис. 9.13, б);

$G19: G03 Y10 Z10 J50 K20$ (рис. 9.13, в).

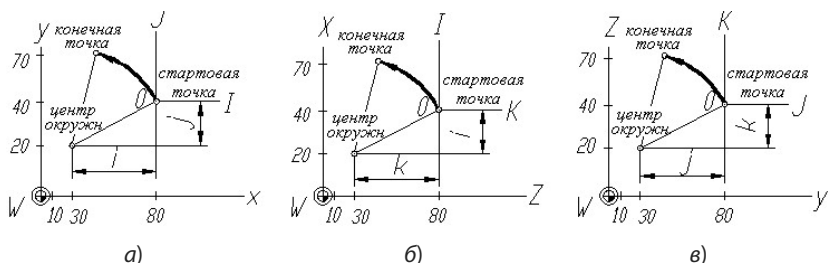


Рис. 9.13. Задание окружности конечной точкой и центром в интерполяционной системе координат OJK (второй способ): а — в плоскости XOY ; б — в плоскости XOZ ; в — в плоскости ZOY

Значения конечных дуг программируемых дуг окружностей даны в абсолютных значениях.

Пример 2. На рис. 9.14 показан участок 1–6, для которого задание круговой интерполяции в абсолютных значениях будет иметь вид

$N10 G1 X20 Y60 F200$	$P1 \rightarrow P2$
$N20 G3 X40 Y80 I40 J60$	$P2 \rightarrow P3$
$N30 G1 X45$	$P3 \rightarrow P4$
$N40 G2 X55 Y90 I45 J90$	$P4 \rightarrow P5$
$N50 G1 Y$	$P5 \rightarrow P6$

Этот же участок при задании круговой интерполяции в приращениях:

$N10 G1 X-20 Y60 F200$	$P1 \rightarrow P2$
$N20 G3 G91 X-20 Y20 I-20 J0$	$P2 \rightarrow P3$
$N30 G1 X-5$	$P3 \rightarrow P4$
$N40 G2 X-10 Y10 I-10 J10$	$P4 \rightarrow P5$
$N50 G1 Y...$	$P5 \rightarrow P6$

Скорость, заданная по адресу F, действует вдоль дуги перемещения.

Пример 1. Для рис. 9.16 винтовая интерполяция будет задана:
G17 G03 X0 Y100 Z20 R100 F150

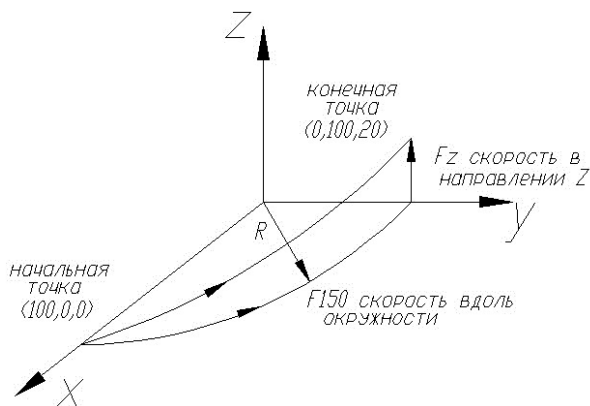


Рис. 9.16. Пример винтовой интерполяции

9.2.5. Нарезание резьбы с линейным шагом (G33)

Функция G33 определяет цикл цилиндрического или конического нарезания резьбы с постоянным или переменным шагом. Это движение координируется с вращением шпинделя. Запрограммированные в кадре параметры определяют тип резьбы, которую следует осуществить.

Формат: **G33 [оси] K [I] [R],**

где [оси] — представлены адресом оси и цифровым значением; K — шаг резьбы. В случае переменного шага представляет начальный шаг. K должен присутствовать всегда; I — изменение шага. Для нарезания резьбы с возрастающим шагом величина I должна быть положительной, для нарезания резьбы с уменьшающимся шагом — отрицательной; R — угол в градусах, определяющий смещение шпинделя от нулевой позиции его датчика углового положения и определяющий начальную точку нарезания резьбы (заход). Используется при нарезании многозаходных резьб. Многозаходная резьба может быть организована изменением адреса R, т.е. система ЧПУ может быть запрограммирована с конкретным угловым смещением шпинделя перед нарезанием каждой нитки. Таким образом, представляется возможным программировать одну начальную точку для различной нарезки.

G33 является модальной функцией. Примеры нарезания резьбы с постоянным шагом приведены на рис. 9.17: цилиндрическое нарезание резьбы (рис. 9.17, а), коническое нарезание резьбы (рис. 9.17, б),

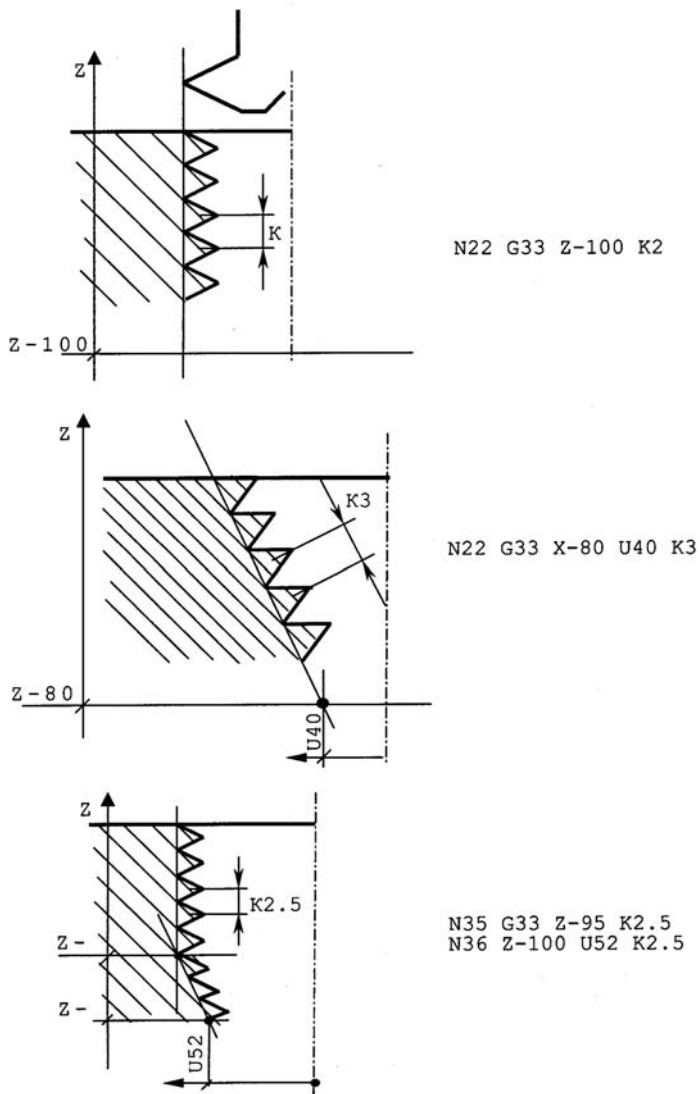


Рис. 9.17. Примеры нарезания резьбы с постоянным шагом:
а — цилиндрическая резьба; *б* — коническая резьба; *в* — цилиндрическо-коническая резьба

цилиндрическо-коническое нарезание резьбы (рис. 9.17, в). Система ЧПУ будет управлять нарезанием конической резьбы, если в формате заданы две координатные оси, например Z , U (см. рис. 9.17, б), где U — диаметральной ось.

9.3. КООРДИНАТНЫЕ ДАННЫЕ И ЕДИНИЦЫ ИЗМЕРЕНИЯ

Информация о координатном перемещении может быть задана восемью цифрами. Она может иметь также и знак. Положительный знак «+» может быть опущен. Информация о координатном перемещении задается в УП в миллиметрах или дюймах, являющихся входными единицами измерения. Поворотные оси всегда имеют в качестве единицы измерения градус. Входная дискрета (инкремент) системы ЧПУ определяет наименьшую величину, которая может быть задана. Устройства контроля перемещения по осям могут быть также выставлены для измерения либо в миллиметрах, либо в дюймах. Это будет определять выходную единицу измерения, которая задается в параметрах систем ЧПУ. Две различные единицы измерения не могут сочетаться на конкретном станке.

Десятичная точка воспринимается как функция выбранной единицы измерения:

X2.134 означает 2,134 мм или 2,134 дюйма.

W24.36 означает 24,36 градуса, когда угловая координата определена по адресу W.

Использование десятичной точки не обязательно.

X325 означает, например, 325 мм.

Стоящие впереди нули могут быть опущены:

.032 = 0,032;

Последние нули могут быть опущены позади десятичной точки:
0,320 = .32.

9.3.1. Преобразование дюйм/метр (G20, G21)

В начале УП необходимая единица измерения может быть задана соответствующей функцией. При задании функций G20, G21 входные данные могут быть заданы в метрических или дюймовых единицах:

- G20 — выбор дюймовых единиц;
- G21 — выбор метрических единиц.

Выбранная единица будет эффективной до смены ее на противоположную, т.е. G20 и G21 — модальные функции. Их действие остается даже после выключения системы ЧПУ, т.е. единица, установленная до выключения, будет эффективной и после включения.

9.4. СИСТЕМЫ КООРДИНАТ

Система ЧПУ определяет и автоматически выводит рабочие органы станка: в нулевую точку станка M , исходную точку станка R , в нулевую точку детали W .

Определения и назначения указанных точек — см. раздел 6.

9.4.1. Определение СЧПУ нулевой точки станка M и ее изменение (G53)

Начало системы координат станка (нулевая точка станка M) задается производителем станка с ЧПУ. Система ЧПУ распознает нулевую точку в процессе обнуления осей координат станка. Пользователь станка с ЧПУ может изменить нулевую точку станка по своему усмотрению, т.е. задать относительную нулевую точку системы координат станка. Расстояние от относительной нулевой точки станка до нуля станка M , рассчитанное в системе координат станка, задается при помощи функции G53.

Формат: G53v.

G53 позволяет переместить инструмент в позицию, определяемую вектором координат v в системе координат станка (рис. 9.18). Независимо от заданных функций G90 или G91 координаты вектора v всегда интерпретируются только в абсолютных значениях. Подобно функции G00, перемещение происходит на скорости быстрого позиционирования с учетом коррекции инструмента.

Функция G53 может быть выполнена только после режима обнуления и действует только в том кадре, где она определена.

Так как минимальные и максимальные величины ходов рабочих органов станка определяются относительно нулевой точки станка M , то один из режимов СЧПУ позволяет ввести ограничения по программированию перемещений осей.

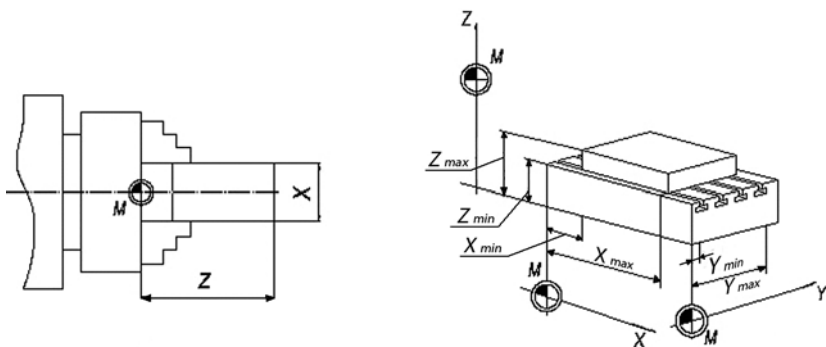


Рис. 9.18. Определение СЧПУ нулевой точки станка функцией G53

9.4.2. Определение СЧПУ исходной точки станка R и ее функция (G28)

На станке с ЧПУ может быть запрограммировано положения одной или нескольких исходных точек станка R (рис. 9.19). Исходные точки имеют координаты в системе координат станка, установленные предварительно в параметрах станка. Они являются, как правило, определенными позициями, связанными, например, со сменой инструмента, сменой столов-спутников. Положение исходной точки программируется по функции G28.

Формат: **G28v**

Эта функция немодальная и будет управлять перемещением осей, определенных вектором v , в исходную точку (или из нее). Перемещение состоит из двух частей. Вначале берутся во внимание координаты, определенные вектором v для промежуточной точки (рис. 9.19, a). Это перемещение в линейном направлении на быстрой скорости. Координаты могут быть заданы как абсолютно, так и в приращениях. Перемещение неизменно происходит в текущей системе координат. Координаты промежуточной точки будут запомнены как оси, определенные вектором v .

Промежуточные значения, определенные в предыдущей функции G28, сохраняются в последующем задании G28 (до выключения системы ЧПУ).

Например:

G28 X100 промежуточная точка $X = 100, Y = 0$

G28 Y200 промежуточная точка $X = 100, Y = 200$

На второй стадии будет осуществляться перемещение из промежуточной точки в исходную точку станка R по всем осям, определенным вектором v , в последовательности, заданной при предварительной ручной привязке рабочих органов станка к исходной точке (рис. 9.19, $b, в$). Перемещение происходит со скоростью, определенной для каждой оси.

9.4.3. Задание СЧПУ системы координат детали (G54–G59)

Система координат, применяемая в процессе обработки детали, определяется как система координат детали. Нулевая точка системы координат детали — точка W (рис. 9.20, a). Для удобства программирования, особенно для фрезерной обработки, можно задавать несколько значений систем координат детали (до шести значений) (рис. 9.20, b). Различные системы координат детали могут быть автоматически заданы системой ЧПУ с помощью функций G54–G59:

- G54 — система координат детали № 1;
- G55 — система координат детали № 2;
- G56 — система координат детали № 3;
- G57 — система координат детали № 4;

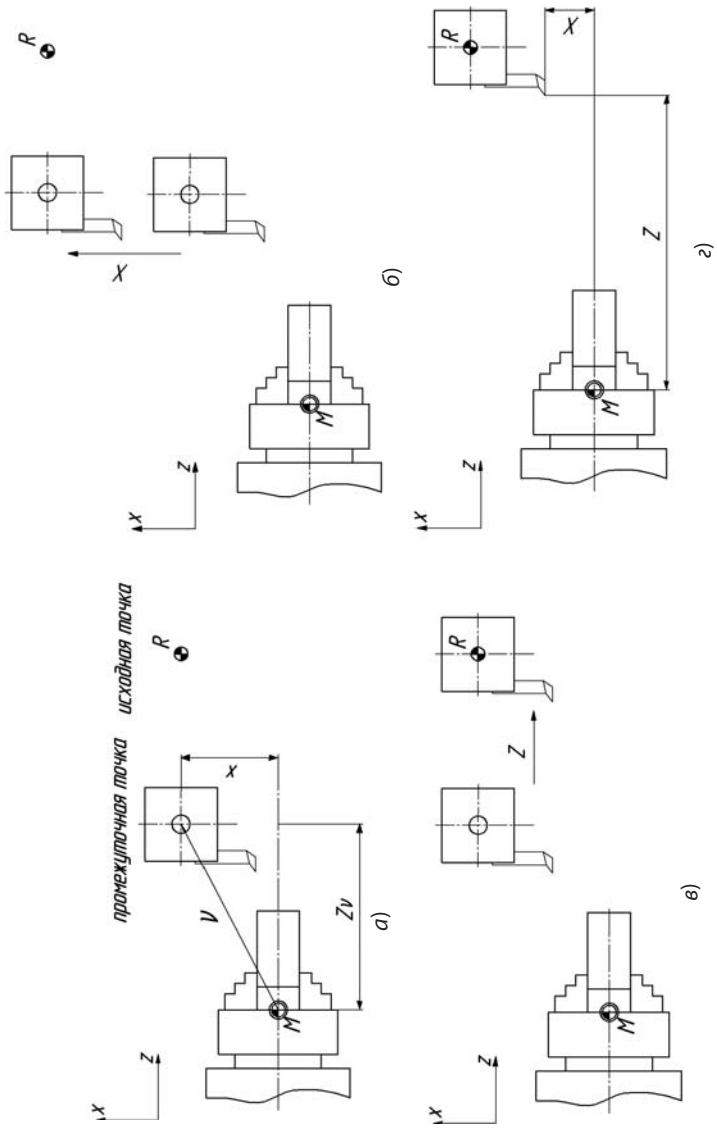


Рис. 9.19. Выход рабочих органов станка в исходную точку R относительно нуля станка M :
 а — перемещения на быстрой скорости в промежуточную точку, заданную вектором v ; б — выход в исходную точку по оси X ; в — выход в исходную точку по оси Z ; v — УЧПУ показывает координаты относительно нуля станка M , учитывающая размеры инструмента по X, Z

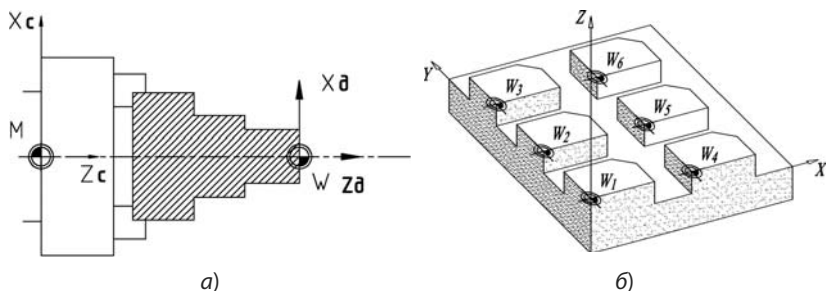


Рис. 9.20. Задание систем координат детали W :
a — для точения; *b* — для фрезерования

- G58 — система координат детали № 5;
- G59 — система координат детали № 6.

Эти функции являются модальными. До режима обнуления их действие неэффективно. После режима обнуления по умолчанию выбирается первая система координат детали (G54).

Абсолютные координатные данные будут приниматься в расчет системой ЧПУ при интерполяции кадров в текущей системе координат детали. Например, **G56 G90 G00 X60 Y40** будет перемещать инструмент в точку со значениями $X = 60$, $Y = 40$ в системе координат детали № 3 (рис. 9.21, *a*).

После изменения системы координат детали позиция инструмента будет отображаться в новой системе координат. Например, на столе установлены две детали (рис. 9.21, *b*). Первая система координат детали $W1$ (G54) определена относительно нулевой точки станка M со смещением $X = 300$, $Y = 800$. Вторая система координат детали $W2$ (G55) определена относительно нулевой точки со смещением $X = 1300$, $Y = 400$. Позиция инструмента будет $X' = 700$, $Y' = 500$ в

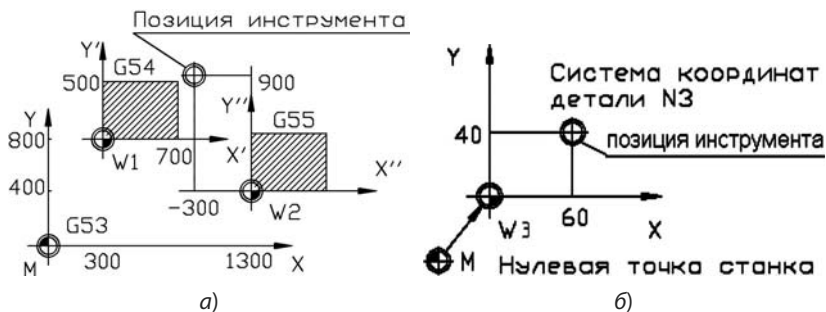


Рис. 9.21. Примеры задания системы координат детали W :
a — позиция инструмента в системе координат детали $W3$ (G56); *b* — позиция инструмента в системе координат $W1$ (G54) и в системе координат $W2$ (G55)

системе координат X' , Y' детали (G54). Как результат действия функции G55 позиция инструмента будет интерпретироваться в системе координат X'' , Y'' детали как $X'' = -300$, $Y'' = 900$.

9.5. ПОДАЧА

9.5.1. Скорость подачи, подача в минуту (G94), подача на оборот (G95)

Термин «подача» относится к скорости перемещения инструмента относительно детали в течение процесса обработки. Желательная подача в УП может быть определена по адресу F с числовым значением. Например, F150 означает подачу 150 мм/мин. Заданная в кадре скорость подачи воспринимается только совместно с линейной (G01) или круговой (G02, G03) интерполяцией.

Скорость подачи является касательной относительно траектории перемещения.

Заданная подача может быть скорректирована корректором скорости в диапазоне 0–120%.

Значение F является модальным.

Единица подачи может быть задана в УП функциями G94 и G95:

- G94 — подача в минуту;
- G95 — подача на оборот.

Термин «подача в минуту» означает, что подача задается в мм/мин, дюйм/мин или град/мин.

Термин «подача на оборот» означает, что подача связана с вращением шпинделя, задается в мм/об или град/об.

При активной G94 скорость подачи при G01, G02, G03 определяется в мм/мин при помощи запрограммированного слова F. Слово F нужно ввести для запоминания только один раз, однако при изменении нужно запрограммировать новое слово F.

Пример G94:

N10 G1 F400 M3 LF

N20 G18 M42 S500 LF

N30 G95 F20 LF

в кадре 30 программирование подачи мм/об,
G95 активна

N40 Z300 LF

N50 G94 F300 LF

в кадре 50 программирование подачи мм/мин,
G94 активна

N60 G73 X40 Z450 LF

N70 G1 X60 F600 LF

N80 G2 X70 Z460 I10 F200 LF

N90 G1 Z500 M30 LF

} в кадрах с 60 по 90 при активной G94 при помощи функций G01, G02, G03 оси станка перемещаются с различными значениями

При активной G95 подача в функциях G01, G02, G03 определяется числом оборотов шпинделя. Ввод мм/об в G95 происходит при помощи слова F. Например:

F1 = 1 мм/об;

F0.1 = 0,1 мм/об.

G95 программируется в том кадре, в котором слово F впервые должно иметь значения в мм/об. Значения F можно задавать после этого в любое время без использования нового программирования.

Пример G95:

N10 G1 M43 S1000 LF

в кадре 10 выбор диапазона вращения шпинделя и числа оборотов

N20 G95 F20 M3 LF

в кадре 20 задание направления вращения шпинделя, G95 активна с подачей 20 мм/об

N30 G4 F20

в кадре 30 пауза

N40 G73 X40 Z450 LF

N50 G1 X60 F4000 LF

N60 G2 X70 Z460 I10
F2000LF

N70 G1 Z500 F2000 LF

N80 X65 Z550 F2500 LF

N90 Z800 M30 LF

} в кадрах с 40 по 90 при активной G95 оси G01, G02, G03 станка перемещаются с различными подачами

Максимально программируемое значение подачи на конкретном станке задается производителем станка. Если скорость подачи больше заданной, то СЧПУ выдает сообщение об ошибке в процессе выполнения программы.

При перемещении на рабочей подаче заданная скорость достигается системой ЧПУ с линейным ускорением, и наоборот, ее величина будет линейно снижаться при торможении. Интенсивность ускорения определяется производителем станка в зависимости от его динамических характеристик.

Ускорение до новой скорости (более высокой, чем предыдущая) начинается системой ЧПУ независимо от начала выполнения конкретного кадра, в котором эта новая скорость задана. Этот процесс может, если необходимо, учитывать сразу несколько кадров. Торможение до новой скорости (более низкой, чем предыдущая) начинается в предыдущем кадре, так что обработка начнется с заданной скоростью в конкретном кадре, в котором эта скорость задана.

9.5.2. Пауза (G04)

Функция G04 позволяет программировать паузу и подразумевает неизменную задержку следующего кадра.

Формат: **(G94) G04 F** — позволяет программировать паузу в секундах.

Формат: **(G95) G04 F** — позволяет программировать паузу в оборотах шпинделя.

Функция является немодальной (активность покадровая). Время прохождения включается с вводом знака конца кадра LF. Не стирает функции G00, G01, G02, G03, G28.

Функция G04 записывается без путевой информации. Слово F содержит данные о продолжительности времени прохождения.

Диапазон значений F в секундах:

- $F_{\min} = F 0.001 = 0,001 \text{ с}$;
- $F_{\max} = F 99999,999 = 99999,999 \text{ с}$.

Диапазон значения в оборотах шпинделя:

- $F_{\min} = F 0.001 \text{ об.} = 0,001 \text{ об}$;
- $F_{\max} = F 99999,999 \text{ об.} = 99999,999 \text{ об}$.

Между этими значениями может быть запрограммировано любое значение F.

Пример G 04:

```
N010 G1 X1 Z1 F100 LF
N020 G4 F20 LF
N030 X73 Z1.5 LF
N040 G4 F20 LF
N050 G0 X0 Z0 LF
N060 G4 F10.5 LF
```

В кадрах N020 и N040 продолжительность кадров 20 с в каждом кадре.

В кадрах N010 и N030 происходит линейная интерполяция.

В кадре N060 — пауза 10,5 с.

9.6. ПОСТОЯННЫЕ ЦИКЛЫ ОБРАБОТКИ

В современных УЧПУ имеется большой набор специально разработанных постоянных подпрограмм, составленных для различных инструментов и охватывающих наиболее часто повторяющиеся схемы обработки. Поэтому они называются *циклами обработки* и вводятся в память УЧПУ с помощью программносителя или диалоговым программированием либо находятся в памяти УЧПУ постоянно. Типовые, многократно повторяющиеся при обработке разных деталей траектории инструмента в ряде УЧПУ сформированы как постоянные (стандартные) циклы.

Постоянный цикл обработки — процесс отдельных движений станка для различных видов обработки, выполняемых специальными инструментами. Каждый постоянный цикл обработки имеет опре-

деленный формат записи, который записывается и вызывается при необходимости в кадрах основной УП.

Как правило, циклы выражены в параметрах, с помощью которых задается действительная траектория движения инструмента. Наиболее часто параметры в циклах задаются латинскими буквами *R*, *P* или *E* с двух или трехзначными числами или специальными знаками (например, #) с цифрами после них. Для различных УЧПУ циклы сравнительно одинаковы. Они могут отличаться принятыми схемами траекторий инструмента и видом используемых параметров.

9.6.1. Расточные постоянные циклы (G80–G89)

Функции постоянных расточных циклов G81–G89 позволяют программировать ряд операций (сверление, нарезание резьбы метчиком, растачивание и т.д.). Перечень и характеристики постоянных расточных циклов приведены в табл. 9.1.

Таблица 9.1

Характеристики постоянных циклов

Постоянный цикл	Подход	Функция на дне отверстия		Возврат
		Выдержка времени	Вращение шпинделя	
G81 сверление	Рабочая подача	Нет	Нормальное	Ускоренное перемещение к R1 или R2
G82 растачивание	Рабочая подача	Да	Нормальное	Ускоренное перемещение к R1 или R2
G83 глубокое сверление (с разгрузкой стружки)	В прерывистой работе (подход с рабочей скоростью с промежуток во время быстрого возврата или остановки)	Да /нет	Нормальное	Ускоренное перемещение
G84 нарезание резьбы метчиком	Рабочая подача; начало вращения	Нет	Обратное вращение	Рабочая подача к R1, ускоренное перемещение к R2
G85 рассверливание или нарезание резьбы метчиком	Рабочая подача	Нет	Нормальное	Рабочая подача к R1, ускоренное перемещение к R2
G86 развертывание	Рабочая подача; начало вращения шпинделя	Нет	Остановка	Ускоренное перемещение
G89 развертывание с растачиванием	Рабочая подача	Да	Нормальное	Рабочая подача к R1, ускоренное перемещение к R2

Постоянный цикл	Подход	Функция на дне отверстия		Возврат
		Выдержка времени	Вращение шпинделя	
G80 отмена постоянных циклов				

Последовательность движений при постоянных расточных циклах следующая (рис. 9.22):

- 1) быстрое позиционирование к оси отверстия;
- 2) быстрый подход к плоскости обработки (размер $R1$);
- 3) перемещение со скоростью рабочей подачи до запрограммированного размера (Z);
- 4) функции цикла на дне отверстия;
- 5) возвращение на быстром ходе или со скоростью рабочей подачи к координате $R1$ или $R2$, если координата возврата отличается от координаты подхода $R1$.

Функции G81–G89 являются модалными. Стираются при помощи G80. Невозможно программировать новый постоянный цикл без закрытия предыдущего постоянного цикла. Во время расточного цикла нельзя программировать другую функцию G.

Циклы G81–G89 стартуют координатами, запрограммированными сразу после кадра, содержащего постоянный цикл. После выполнения первого цикла, для того чтобы выполнить последующие циклы, идентичные первому, достаточно запрограммировать координаты точек отверстия.

Общий формат кадра постоянного расточного цикла следующий:

G8X [R1[R2]] [координата цикла] [дополнительные команды] [скорость подачи] [вспомогательные функции],

где [R1[R2]] — это координаты, относящиеся к оси шпинделя. Они определяют координаты быстрого позиционирования в плоскости обработки в точке начала обработки и координаты воз-

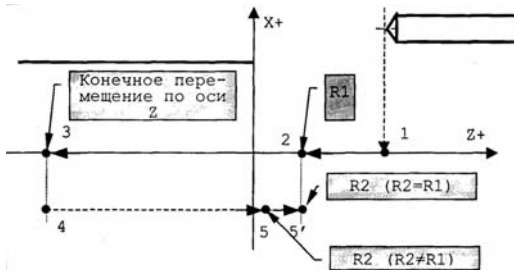


Рис. 9.22.
Последовательность движений при постоянных расточных циклах

врата в конце обработки. Если $R2$ отсутствует, то $R1$ считается конечной координатой; [**координата цикла**] — определяет координату глубины отверстия и ось, вдоль которой выполняется цикл (X, Y, Z); [**скорость подачи**] — определяется символом F ; выражает скорость подачи, с которой выполняется обработка отверстия, в мм/мин; если отсутствует, то скоростью подачи будет последняя запрограммированная F ; [**дополнительные команды**] — являются командами, определяющими параметры операций (например, K — для глубокого сверления; P — время в с); [**вспомогательные функции**] — определяют функции S, M, T, H .

Рассмотрим формирование постоянного расточного цикла на примере цикла сверления. Постоянный цикл сверления $G81$ может быть также использован для операций растачивания, развертывания и центровочного сверления.

Функцию $G81$ можно программировать одну или вместе с другой информацией в одном кадре. Все путьевые размеры в цикле программируются как абсолютные величины ($G90$), так как при активной $G81$ программирование $G91$ не разрешается.

Формат: **G81 R...X...Y...Z...F...**,

где R — верхняя кромка детали (начальная координата отверстия) и координата точки возврата; Z — рабочая глубина сверления; X, Y — значения позиционирования; F — рабочая подача.

Пример G81 (рис. 9.23):

```
N10 G90 S1000 M42 LF
N20 G81 X85 Y45 Z-25 R-55 F300 M3 LF
N30 X45 Y30 Z-15 R-40 LF
N40 X25 LF
N50 G80 Z-60 H0 LF
N60 G0 X150 Y0 M30 LF
```

Выполнение перемещений в кадрах:

N20

```
P0→P1      G0 и шпиндель ВКЛ
P1→P2      G0
P2→P3      G1
P3→P2      G0
```

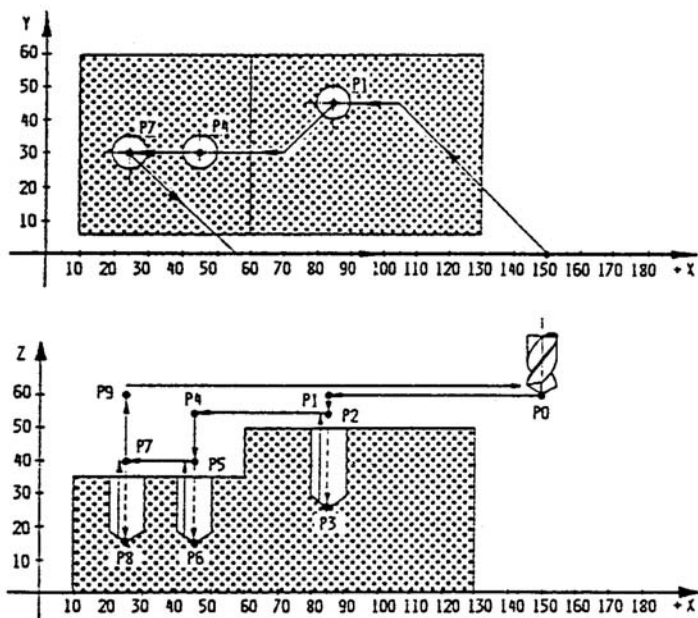
N30

```
P2→P4      G0
P4→P5      G1
P5→P6      G0
P6→P5      G0
```

N40

```
P5→P7      G0
P7→P8      G1
P8→P7      G0
```

N50
 P7→P9 G0, шпиндель ВКЛ стирается
N60
 P9→P0 G0



—————→ G01 быстрое перемещение
 - - - - - → G01 перемещение с рабочей подачей F

Рис. 9.23. Пример задания постоянного цикла сверления (G81)

9.6.2. Постоянные циклы точения

Циклы точения отличаются большим разнообразием. Предназначены для обработки простых и сложных, внешних и внутренних контуров различными резцами, для отрезки, нарезания резьб, прорезания, обработки выточек и т.п. Некоторые постоянные циклы точения приведены в табл. 9.2.

Циклы черного и чистового точения различаются в зависимости от способа снимаемого припуска и могут осуществляться методами: «снятия стружки», «контурной обработки», обработки «параллельно к контуру».

Как правило, циклы черного и чистового точения простых контуров задаются в «нормальном» режиме, более сложных конту-

Некоторые постоянные циклы точения

Команда цикла	Название цикла
G70	Цикл черного продольного точения «снятием стружки»
G71	Цикл черного поперечного точения «снятием стружки»
G817	Цикл черновой продольной обработки контура «контурная обработка резанием»
G818	Цикл черновой поперечной обработки контура «контурная обработка резанием»
G836	Цикл черновой продольной обработки «параллельно к контуру»
G877	Цикл черновой поперечной обработки «параллельно к контуру»
G89	Цикл чистового продольного точения «снятием стружки»
G76	Простой цикл прорезки
G25	Цикл обработки выточки
G859	Цикл отрезки
G799	Цикл резьбофрезерования

ров — в «расширенном» режиме (расширенная обработка резанием). «Расширенный» режим предполагает использование в цикле большего количества параметров. На рис. 9.24, *a*, *б* показаны циклы черного продольного точения методом «снятия стружки» в «нормальном» и «расширенном» режимах.

Параметры циклов в «нормальном» режиме:

- X, Z — точка старта;
- X1, Z1 — начальная точка контура;
- X1 — начальная точка контура (снятие стружки продольно);
- Z2 — конечная точка контура (снятие стружки продольно);
- Z1 — начальная точка контура (снятие стружки поперечно);
- X2 — конечная точка контура (снятие стружки поперечно);
- P — глубина подвода:
 - P > 0 — со съемом материала по контуру;
 - P < 0 — без съема материала по контуру;
- T — номер инструмента;
- S — скорость вращения;
- F — подача.

Параметры циклов в «расширенном» режиме:

- X, Z — точка старта;
- X1, Z1 — начальная точка контура;

- $X2, Z2$ — конечная точка контура ;
- P — глубина подвода: максимальная глубина подвода:
 $P > 0$ — со съемом материала по контуру;
 $P < 0$ — без съема материала по контуру;
- A — начальный угол. Диапазон: $0^\circ \leq A < 90^\circ$;
- W — конечный угол. Диапазон: $0^\circ \leq W < 90^\circ$;
- R — закругление;
- $B, B1$ — фаска/закругление (B — конец контура, $B1$ — начало контура):
 $B > 0$ — радиус закругления;
 $B < 0$ — ширина фаски;
- I, K — припуск по X, Z ;
- T — номер инструмента;
- S — скорость вращения;
- F — подача.

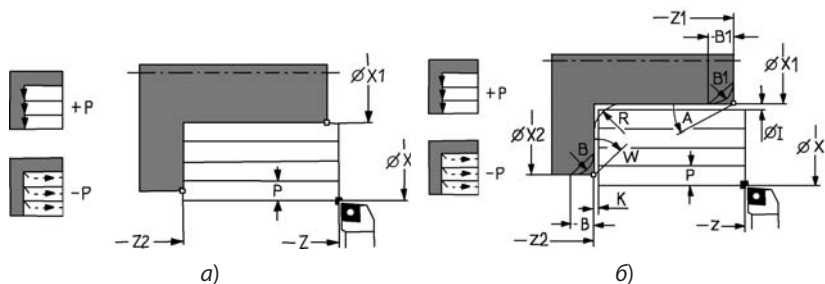


Рис. 9.24. Циклы чернового продольного точения методом «снятия стружки»: а — в «нормальном» режиме; б — в «расширенном» режиме

9.6.2.1. Циклы чернового продольного (G70), поперечного (G71) точения «снятием стружки»

Выполняют черновую обработку прямоугольного контура, описанного в цикле с помощью параметров X, Z (рис. 9.25, а).

С помощью циклов G70, G71 задается следующая последовательность движений:

- 1) расчет распределения проходов (подвод);
- 2) подвод инструмента из точки старта « X, Z » для первого прохода;
- 3) перемещение инструмента с подачей к «конечной точке $Z2$ », или к «конечной точке $X2$ », или к избираемому элементу контура;
- 4) в зависимости от знака числа « P »:
 - $P > 0$ — со съемом материала по контуру;
 - $P < 0$ — без съема материала по контуру;

- 5) возврат инструмента и подвод заново;
- 6) повтор п. 3–5, пока не достигнется «X1» или «Z1»;
- 7) перемещение по диагонали к точке старта.

Общий формат:

G70 X1...Z2...[P][K][I][V]

Пример G70 (рис. 9.25, а):

N1 T3 G95 F0.25 Q96 S200 M3

N2 G0 X120 Z2

N3 G70 X100 Z-70 I4 K4 V0

Параметры примера:

- X1 — начальная точка контура (размер диаметра);
- Z2 — конечная точка контура;
- P — глубина резания: распределение проходов рассчитывается так, что избегается «шлифовальный проход» и подача является $\leq I$:
 - P > 0 — со съемом материала по контуру;
 - P < 0 — без съема материала по контуру;
- I — смещение — припуск под чистовую обработку по X (размер диаметра);

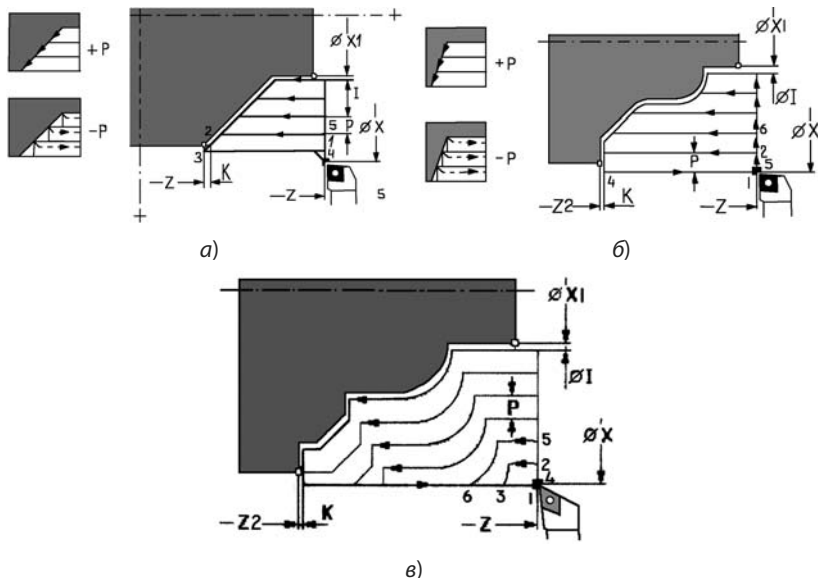


Рис. 9.25. Примеры циклов чернового продольного точения методами: а — «снятия стружки» (G70); б — «контурной обработки» (G817); в — «параллельно к контуру» (G836)

- К — смещение — припуск под чистовую обработку по Z;
- Q — функция подвода:
 - Q = 0 — подвод с быстрой подачей;
 - Q = 1 — подвод с рабочей подачей;
- V — выход из материала:
 - V = 0 — возврат к точке старта в Z последнего диаметра в X;
 - V = 1 — возврат к точке старта.

9.6.2.2. Циклы *чернового продольного, поперечного точения «контурной обработкой резанием»* (G817, G818)

Циклы G817, G818 позволяют выполнять черновую обработку более сложных по форме участков с учетом припусков (рис. 9.25, б). Описание контура происходит в цикле через параметры.

С помощью циклов G817, G818 задается следующая последовательность движений:

- 1) расчет распределения проходов (подвод);
- 2) подвод инструмента из «X, Z» для первого прохода;
- 3) перемещение инструмента с подачей к «конечной точке Z2», или к «конечной точке X2», или к избираемому элементу контура;
- 4) в зависимости от знака числа «P»:
 - P > 0 — снимает стружку вдоль контура;
 - P < 0 — инструмент поднимается под углом 45°;
- 5) возвращение инструмента и подвод заново;
- 6) повтор п. 3–5, пока не достигается «X1» или «Z1»;
- 7) возвращение инструмента параллельно к оси к точке старта.

Общий формат:

G871 X1...Z2...[P][H][K][I]

Пример G817, G818 (см. рис. 9.25, б):

N1 T3 G95 F0.25 G96 S200 M3

N2 G0 X120 Z2

N3 G817 X80 P4 H0 I1 K0.3

Параметры примера G817, G818:

- X1 — начальная точка контура (размер диаметра);
- Z2 — конечная точка контура;
- P — глубина резания:
 - P > 0 — со съемом материала вдоль контура;
 - P < 0 — без съема материала вдоль контура;
- I — припуск по X (размер диаметра);
- K — припуск по Z;
- T — номер инструмента;
- S — скорость вращения;
- F — рабочая подача;

- Н — отъезд:
 - 0 — снимает стружку после каждого прохода вдоль контура;
 - 1 — поднимается под углом 45°, снимает стружку при последнем проходе вдоль контура;
 - 2 — поднимается под углом 45° без прохода вдоль контура.

9.6.2.3. Циклы черного продольного, поперечного точения обработки «параллельно к контуру» (G 836, G 837)

Циклы G 836, G837 выполняют черновую обработку на участках заготовки параллельно к контуру (рис. 9.25, в). «X, Z» определяет начальную точку контура. Последующие записи после цикла G 836 описывают участок контура. G 80 включает описание контура.

С помощью циклов G817, G818 задается следующая последовательность движений:

- 1) расчет распределения проходов (подвод);
- 2) подвод из «X, Z» параллельно к оси для первого прохода;
- 3) снятие стружки соответственно рассчитанному распределению проходов;
- 4) возвращение и подвод для следующего прохода;
- 5) повтор 3–4, пока определенный участок не будет обработан;
- 6) возврат параллельно к оси к точке старта.

Общий формат:

G836 X1...Z2...[P][K][I][Q]

Пример (G836, 837) (см. рис. 9.25, в):

N1 T3 G95 F0.25 G96 S200 M3

N2 G0 X120 Z2

N3 G836 X80 Z2 P4 I1 K0.3

Параметры в примере:

- X1 — начальная точка контура (размер диаметра);
- Z2 — конечная точка контура;
- P — глубина подвода: максимальная глубина подвода;
- I — припуск по X (размер диаметра);
- K — припуск по Z;
- Q — поперечная черновая обработка: обработка продольно и поперечно:
 - Q = 0 — обработка продольно;
 - Q = 1 — обработка поперечно.

Все ранее представленные циклы черновой обработки G70, G71, G817, G818, G836, G837 могут быть реализованы и для чистового точения под другими подготовительными функциями.

9.6.3. Циклы фрезерования

Некоторые постоянные циклы фрезерования приведены в табл. 9.3.

Таблица 9.3

Постоянные циклы фрезерования

Команда цикла	Название цикла
G110	Цикл быстрого подвода к контуру
G791	Цикл фрезерования линейного паза на торцевой поверхности
G793	Цикл фрезерования фигуры на торцевой поверхности

9.6.3.1. Цикл фрезерования линейного паза на торцевой поверхности (G791)

G791 фрезерует паз от заданной позиции инструмента к конечной точке. Ширина паза соответствует диаметру фрезы (рис. 9.26).

Последовательность движений в цикле:

- 1) включает ось C и позиционирует на ускоренном ходу на «угол шпинделя C»;
- 2) рассчитывает распределение проходов;
- 3) подъезжает на безопасное расстояние;
- 4) перемещается с подачей «FZ»;
- 5) фрезерует до «конечной точки канавки»;
- 6) перемещается с подачей «FZ»;
- 7) фрезерует до «начальной точки канавки»;
- 8) повторяет 4–7, пока не будет достигнута полная глубина фрезерования;

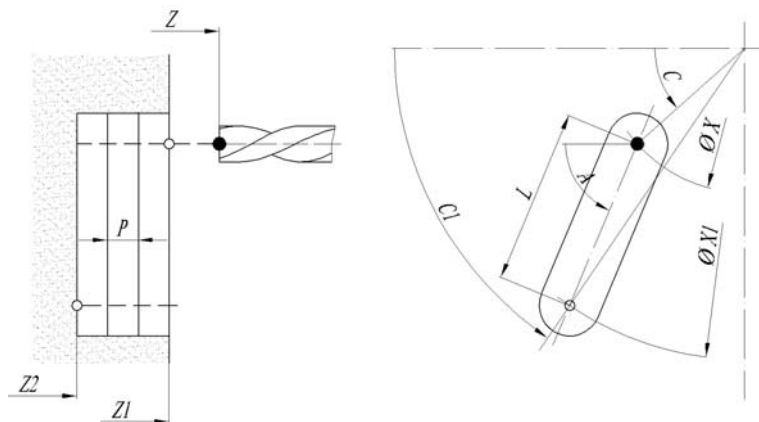


Рис. 9.26. Цикл фрезерования линейного паза на торцевой поверхности (G791)

9) позиционирует на «начальную точку Z» и выключает ось C.

Параметры программирования функции:

Точка старта X, Z;

- C — угол шпинделя (C — позиция оси);
- C1 — угол — целевая точка канавки;
- X1 — целевая точка канавки в X (размер диаметра);
- Z1 — верхняя грань фрезерования;
- Z2 — дно фрезерования;
- L — длина канавки;
- A — угол к оси X;
- P — глубина подвода;
- FZ — подача подвода;
- T — номер инструмента;
- S — скорость вращения/скорость резания;
- F — вращательная подача.

Пример программирования G791 (см. рис. 9.26):

```
N1 T70 G197 S1200 G195 F0.2 M104  
N2 M14  
N3 G110 C0  
N4 G0 X100 Z2  
N6 G100 XK20 YK6  
N6 G791 XK30 YK5 Z-5 J5 P2  
N7 M15
```

9.7. ФУНКЦИИ ШПИНДЕЛЯ

9.7.1. Скорость вращения шпинделя (адрес S)

Требуемая величина оборотов шпинделя программируется под адресом S с числовым значением, состоящим максимум из пяти цифр. Величина, определенная по адресу S, является модальной величиной.

Программирование скорости вращения шпинделя S (скорости главного движения) зависит от конструкции станка и вида главного привода.

Для станков, имеющих ступенчатое регулирование главного привода с помощью автоматической коробки скоростей (АКС), число оборотов шпинделя задают словом, содержащим адрес S и двухзначное кодированное число. Каждому коду соответствует определенное число оборотов шпинделя в минуту.

Формат: S {кодовое число xx}

Для примера приведено кодирование ряда скоростей шпинделя:

- для токарного станка модели 16К2Т1 — в табл. 9.4;
- для фрезерного станка модели ФП-17МН — в табл. 9.5.

При составлении УП программировать скорость главного движения необходимо в определенной последовательности:

1) задать направление вращения привода главного движения функциями:

M03 — вращение по часовой стрелке;

M04 — вращение против часовой стрелки;

M05 — шпиндель стоп;

2) задать диапазон скорости функциями: M38, M39, M41, M42, M43, M44, M38, M39. Например, M41 — первый диапазон, M42 — второй, M43 — третий и т.п.;

3) задать код частоты вращения шпинделя адресом S.

Пример S (см. табл. 9.4):

N10 M3 LF вращение шпинделя по часовой стрелке

N20 M42 LF выбор диапазона № 2 частот вращения шпинделя

N30 S8 LF число оборотов шпинделя 560 об/мин

Для станков с регулируемым приводом главного движения возможны два режима задания скорости шпинделя:

- по функции G97 — скорость в об/мин;
- по функции G96 — скорость в м/мин.

Режим прямого задания скорости шпинделя — по функции G97.

Пример G97:

N 10 ...

N 11 M3 LF правое вращение шпинделя

N 12 M42 диапазон скорости 2

N 13 G97 режим задания частоты вращения

N 14 S710 710 об/мин

Режим задания постоянной скорости резания по функции G96.

Формат: **G96 P1....P2....**,

где P1 — ограничение максимального числа оборотов шпинделя в минуту; P2 — ограничение минимального числа оборотов шпинделя в минуту.

Значения P1 и P2 являются модалными, т.е. сохраняются в памяти до повторного прихода функции G96 с новыми значениями P1 и P2.

Пример G96:

N 50

N 51 G96 режим постоянной скорости резания

N 52 P950 максимальное число оборотов в минуту шпинделя 950
N 52 P200 минимальное число оборотов в минуту шпинделя 200
N 52 S90 скорость резания 90 м/мин

Таблица 9.4

Кодирование скоростей шпинделя для токарного станка мод. 16K20T1




Код скорости S Диапазон M	01	02	03	04	05	06	07	08	09
	 1:8	12,5	18	25	35,5	50	71	100	140
 1:2 (M42)	50	71	100	140	200	280	400	560	800
 1,25:1	125	180	250	355	355	710	1000	1400	2000

Таблица 9.5

Кодирование скоростей шпинделя для фрезерного станка мод. ФП-17МН

Обозначение слова	Диапазон частот вращения	Частота вращения, об/мин
Обработка сталей		
S36	1	61
S42		123
S45	M38	178
S48		247
S51		356
S54		493
Обработка легких сплавов		
S57	2	730
S60		1045
S63	M39	1445
S66		1725
S45		185
S54		524

9.7.2. Ориентированный останов шпинделя (M19)

«Ориентация шпинделя» или «ориентированный останов шпинделя» относится к функции останова шпинделя в конкретной угловой позиции (рис. 9.27). Это может быть необходимо, например, для автоматической смены инструмента или для выполнения некоторых циклов сверления.

Команда ориентации шпинделя задается функцией M19, но могут использоваться и другие функции в зависимости от конкретного станка с ЧПУ (например, M20).

Техническая ориентация может выполняться двумя различными способами.

1. Если шпиндель не может быть охвачен обратной связью по положению, ориентация достигается поворотом шпинделя до позиционного выключателя, расположенного на станке.

2. Если шпиндель замкнут по положению, по команде M19 система управляет поиском нулевой точки шпинделя (подобно другим осям).

Пример M19:

N 15 M3 LF

N 16 M41 LF

N 17 M19 LF

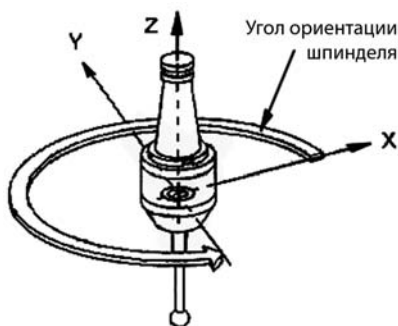


Рис. 9.27.
Ориентированный останов шпинделя (M19)

9.8. ИНСТРУМЕНТ

9.8.1. Данные об инструменте

При создании УП нужно ввести определенные данные о режущих инструментах. Эти данные заносятся в таблицу инструмента в систему ЧПУ, и при смене инструмента система ЧПУ оперирует ими. Данные об инструменте — это набор параметров используемого режущего инструмента, таких как: $T, L, X, Z, R, R2, A, B, C, F$,

где T — номер инструмента (рис. 9.28). Каждый инструмент обозначен номером от 0 до n -го значения; инструмент с номером 0 установлен как нулевой инструмент и имеет длину $L = 0$, а также радиус $R = 0$;

L — вылет фрезы. Для фрез вылет инструмента устанавливается относительно фиксированной точки установки инструмента B (см. раздел 7). На рис. 9.29 показана разница вылета применяемых инструментов и вылета нулевого инструмента:

$L > L_0$ — инструмент длиннее, чем нулевой инструмент;

$L < L_0$ — инструмент короче, чем нулевой инструмент;

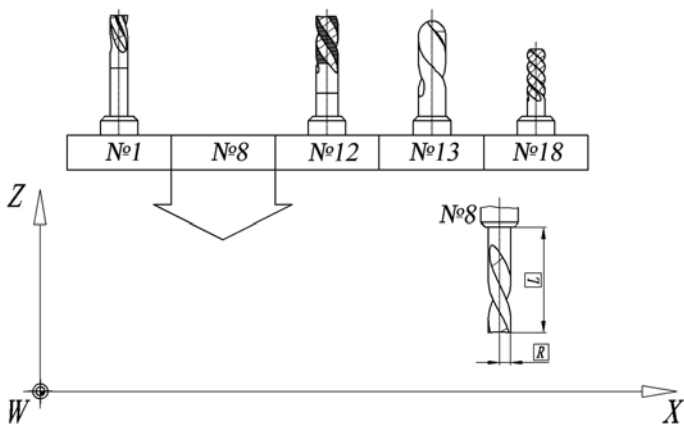


Рис. 9.28. Номер инструмента T

X — вылет резцов по оси X ;

Z — вылет резцов по оси Z . Для резцов вылет инструмента устанавливается относительно фиксированной точки установки инструмента B (см. раздел 7). На рис. 9.30 показаны вылеты для резца по осям X и Z ;

R — радиус инструмента. Для фрез (рис. 9.31, a):

R — радиус инструмента как расстояние от его центра P_T до наружных кромок;

R_2 — радиус заточки.

Соотношение R и R_2 определяет форму инструмента. На основании этих данных для фрез рассчитываются координаты настроечной точки инструмента P .

Для резцов (рис. 9.31, b) для определения настроечной точки P задаются также параметры резца:

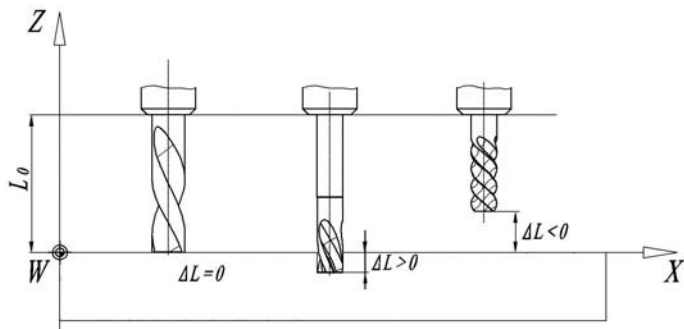


Рис. 9.29. Длина нулевого инструмента L_0

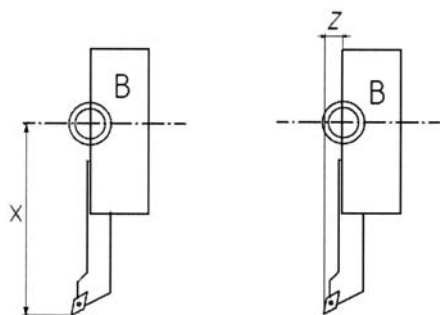


Рис. 9.30. Длина инструмента по оси X и Z (для резцов)

- A — угол реза;
- B — ширина резца;
- C — угол резания.

Как только размеры инструмента известны, УЧПУ должно знать точку настройки инструмента P (код расположения), чтобы скомпенсировать заштрихованную площадь (компенсация радиуса) (рис. 9.32);

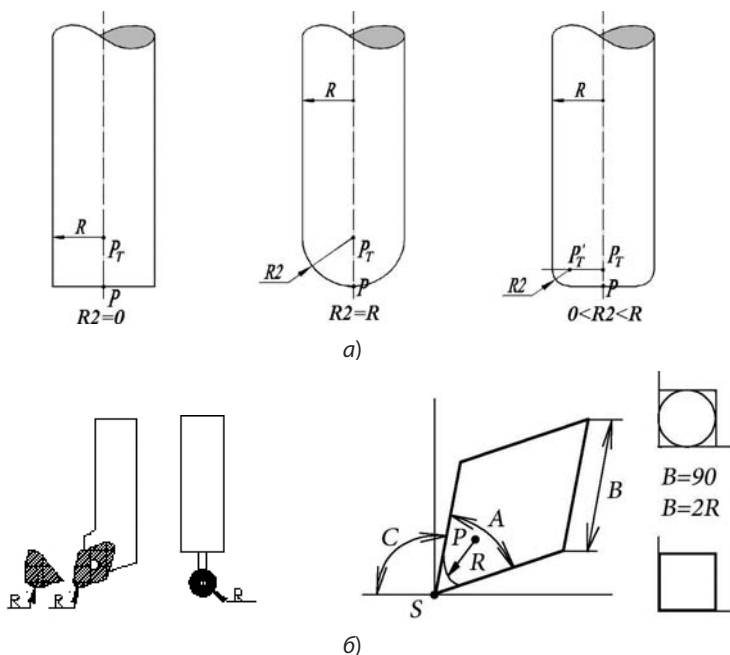


Рис. 9.31. Геометрические параметры инструментов:
а — для фрез; б — для резцов

F — код расположения или профиль инструмента. Код расположения зависит от ориентации осей станка.

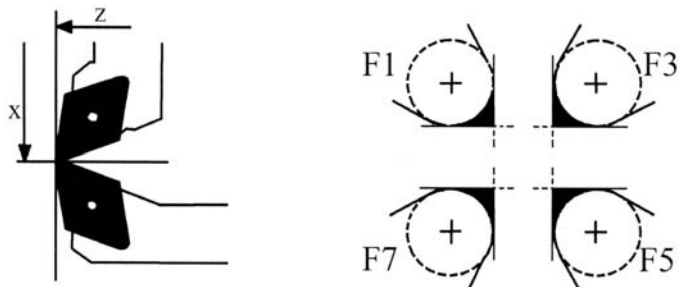


Рис. 9.32. Код расположения или профиль инструмента F

9.8.2. Управление выбором инструмента

Задание номера инструмента T . В ходе обработки различные инструменты могут использоваться для различных операций резания. Инструменты определяются их номерами. Запрос необходимого инструмента может быть осуществлен по адресу T . Команда $T25$ в программе означает, что инструмент с номером 25 должен быть использован для дальнейшей обработки. Смена инструмента может быть выполнена вручную или автоматически в зависимости от конструкции станка.

Смена инструментов (M06). Имеется два основных способа указания смены инструмента в УП. Это зависит от конкретного технического решения по организации смены инструмента на станке (определяется разработчиком).

Способ 1 (рис. 9.33). Инструмент может быть заменен вручную, или смена инструмента решается с помощью револьверной головки. При этом, если в программе указан адрес T :

а) в случае ручной смены инструмента номер необходимого инструмента отображается на экране и он должен быть вручную установлен в шпиндель. Далее обработка может быть продолжена;

б) в случае применения револьверной головки:

- оси перемещаются на ускоренной подаче по функции $G14$ к точке смены инструмента (исходной точке инструмента E);
- новый инструмент устанавливается автоматически, следуя команде с кодом T . Ссылка на номер инструмента вызывает немедленную его смену при выполнении кадра, в котором определен инструмент T .

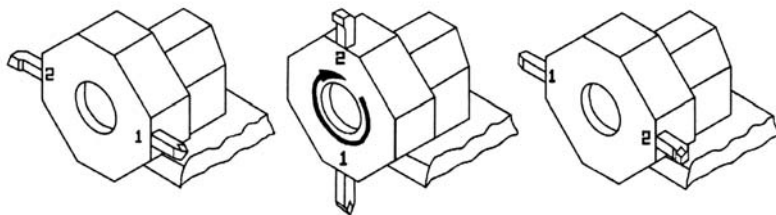


Рис. 9.33. Смена инструмента с помощью револьверной головки

Пример G14 (рис. 9.34):

N1 G14 Q0
 N2 T3 G95 F0.25 G96 S200 M3
 N3 G0 X0 Z2
 N...

где $Q0$ — диагональный путь перемещения; $Q1$ — сначала направление X , а потом Z ; $Q2$ — сначала направление Z , а потом X ; $Q3$ — только направление X , Z остается неизменным; $Q4$ — только направление Z , X остается неизменным.

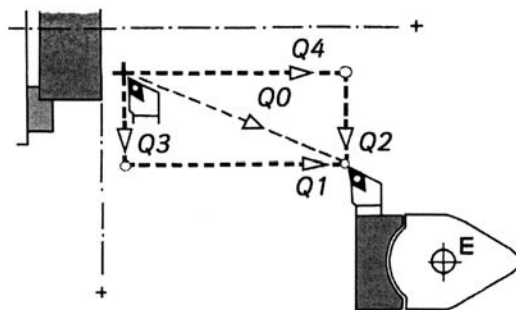


Рис. 9.34. Пример ускоренного подвода рабочих органов станка к позиции смены инструмента (G14)

Способ 2. Смена инструмента осуществляется при использовании инструментального магазина и автооператора (рис. 9.35). Для смены инструмента на станке необходимо выполнить некоторые подготовительные операции. Это следующие шаги.

1. Необходимый инструмент должен быть найден в магазине. В данный момент указание в программе номера инструмента приводит к его поиску и установке его в позицию смены. Эта операция производится на «заднем плане», т.е. вместе с обработкой.

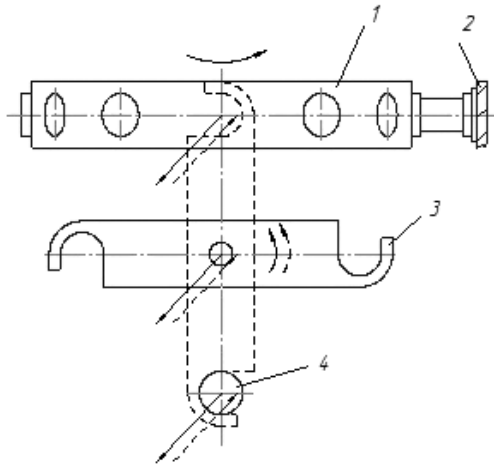


Рис. 9.35. Смена инструмента с помощью инструментального магазина:
 1 — инструментальный магазин; 2 — инструмент, необходимый для обработки;
 3 — автооператор; 4 — сменяемый инструмент

2. Оси (или только одна из осей) перемещаются в позицию смены.
3. Происходит смена инструмента по функции M06.
4. Предыдущий инструмент устанавливается в магазин. Эта операция производится вместе с обработкой.
5. Далее производится поиск нового инструмента в магазине.

Пример M06 (рис. 9.36):

N10 G91
 N20 G1 X-80 Y-15 F3000
 N30 G1 X40 F300
 N40 Y45
 N50 X-40 T16
 N60 Y-45 M6
 N70 G81 X70 Y65 Z-40 R-80 F200 H1
 N80 Y45 T18
 N90 Y25 M6
 N100 G83 X35 Y50 Z-20 R-80 K-20 H2 F300
 N110 G80 Z-100 H0 M30

Выполнение перемещения с помощью M06:

N20	P0→P1	позиционирование при активной G91
N30	P1→P2	обработка с подачей
N40	P2→P3	обработка с подачей
N50	P3→P4	обработка с подачей, вызов инструмента № 16

N60	P4→P1	обработка с подачей, после достижения позиции P1 вводится цикл смены инструмента, происходит установление G0, G80 и G90
N70	N→P5	выполнение расточного цикла G81, становится активной коррекция длины по оси Z
N80	P5→P6	выполнение расточного цикла G81, вызов инструмента № 18
N90	P6→P7	выполнение расточного цикла G81, по окончании расточного цикла вводится цикл смены инструмента, происходит установление G0, G80 и G90, коррекция длины H1 изымается
N100	N→P8	выполнение расточного цикла G83, становится активной коррекция длины H2 по оси Z

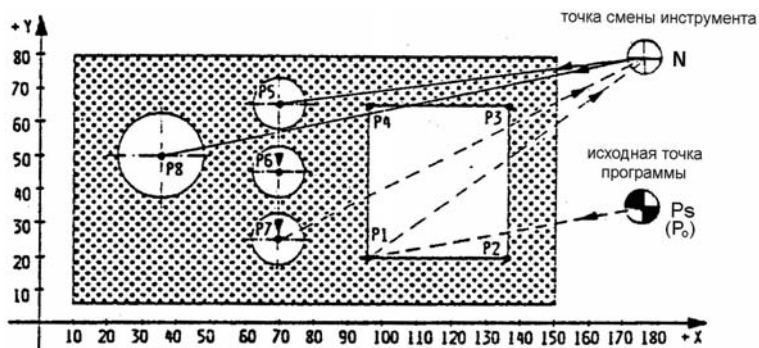


Рис. 9.36. Пример автоматической смены инструмента M06

9.9. ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЕ ФУНКЦИИ

Вспомогательные функции M. Система ЧПУ позволяет записывать несколько M-функций из разных групп в одном кадре (до 7) (см. п. 8.2.4). Только одна из M-функций от каждой группы может быть запрограммирована в одном кадре:

- группа 1 — M06 (смена инструмента);
- группа 2 — M11, M12, M13, M14 (смена диапазона скорости шпинделя);
- группа 3 — M03, M04, M05, M19 (управление шпинделем);
- группа 4 — M08, M09 (управление охлаждением);
- группа 5 — Mnnn (любая другая функция M);
- группа 7 — M00, M01, M02, M30, M98, M99 (функции управления программой).

Выполнение каждой М-функции определяется производителем конкретного станка. Исключение составляют функции управления программой.

Функции управления программой. M00 — программный останов. Условие останова будет выполнено в конце кадра, содержащего M00. Все модальные функции остаются неизменными. Повторный запуск осуществляется нажатием кнопки START на пульте УЧПУ.

M01 — останов с подтверждением. Его действие идентично коду M00. Он будет действовать, если функциональная клавиша условного останова на пульте оператора будет активной. Если данная функциональная клавиша неактивна, эта функция неэффективна.

M02 — конец программы. Означает конец основной программы. Все операции прекращаются.

Различные функции, записанные в одном кадре, будут исполняться системой ЧПУ в следующей последовательности:

1	Смена инструмента	M06
2	Поиск инструмента	T
3	Выбор диапазона шпинделя	M38, M39, M41, M42, M43, M44
4	Скорость шпинделя	S
5	Управление шпинделем	M03, M04, M05, M19
6	Охлаждение	M08, M09
7	Другие М-функции	Mnnn
8	Коды управления программой	M00, M01, M02, M30, M98, M99

Если вышеуказанная последовательность нежелательна, кадр может быть разбит на отдельные кадры, в которых функции будут записаны по отдельности в необходимой последовательности.

9.10. КОРРЕКЦИЯ ИНСТРУМЕНТА

УП создается для конкретных значений вылета резца X и Z при точении и значений вылета фрезы L и диаметра D при фрезеровании (см. п. 7.1.3). Однако значения этих параметров при фактическом использовании режущих инструментов на станке с ЧПУ могут быть другими, например, из-за износа инструмента. Применение фрез различного вылета (рис. 9.37), диаметра (рис. 9.38) или резцов различного вылета (рис. 9.39) может привести к отклонению размеров детали при обработке по УП. Поэтому в системах ЧПУ предусмотрена возможность проведения коррекции: геометрии инструмента (диаметра, вылета); износа инструмента.

При выполнении коррекции система ЧПУ пересчитывает опорные точки траекторий движения в УП с учетом фактических параметров инструмента. Данные по коррекции инструментов заносятся

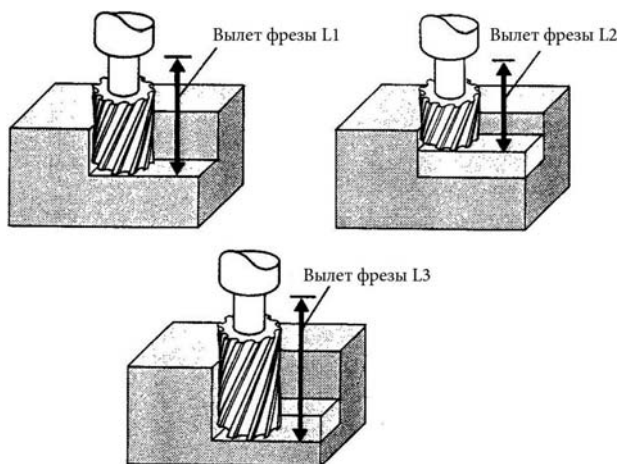


Рис. 9.37. Использование в УП фрез с различным вылетом L

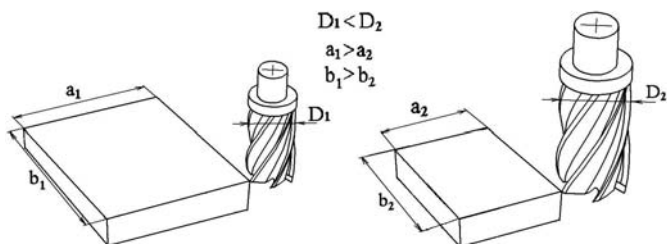


Рис. 9.38. Использование в УП фрез с различным диаметром D

в регистры коррекции (корректоры) памяти УЧПУ (их может быть до 400 и более).

Вид коррекции связан с программируемым адресом для вызова коррекции (рис. 9.40):

- адрес H — указывает, что коррекция может быть произведена по вылету инструмента;
- адрес D — указывает, что коррекция может быть произведена по диаметру инструмента.

Число, стоящее позади адреса H или D , указывает номер корректора в памяти УЧПУ, куда заносится фактическая величина коррекции. Таблица 9.4 показывает возможное содержание корректоров в памяти УЧПУ.

Значение коррекции по адресам H и D , записываемое в корректоры памяти УЧПУ, может быть положительным или отрицатель-

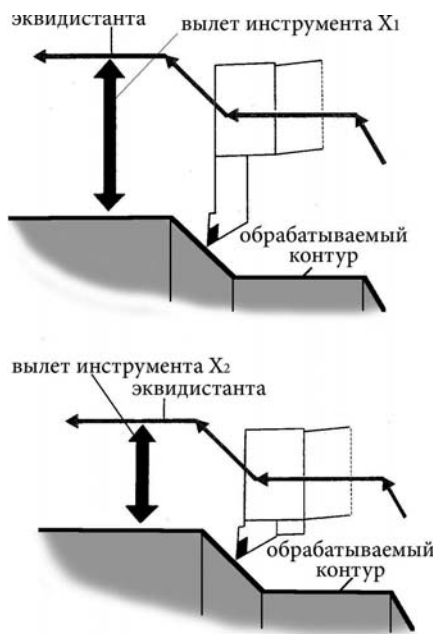


Рис. 9.39. Использование в УП резцов с различным вылетом по оси X

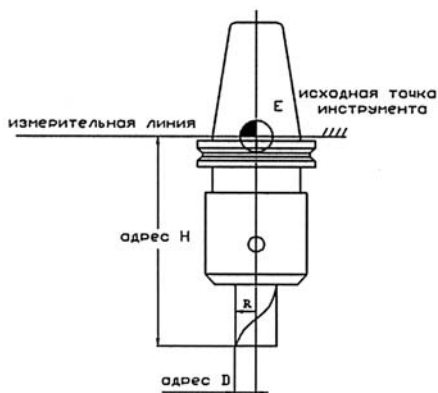


Рис. 9.40. Адреса H и D для определения коррекции инструментов

ным. Учет знаков коррекции представлен на примере обработки сверлом (рис. 9.41). В приведенном примере применяемое сверло отличается от заданного в УП, и эта разница устраняется за счет коррекции вылета инструмента.

При слишком длинном сверле в таблицу коррекций длины записывается положительное значение H, при слишком коротком сверле — минус H.

Когда в УП происходит ссылка на применение коррекции с помощью адресов **H** или **D**, система ЧПУ будет всегда суммировать геометрическую величину коррекции с величиной износа. Если, например, в программе имеется ссылка на коррекцию с адресом **H2**, коррекция на длину инструмента определится по вышеуказанной таблице как $830,500 + (-0,102) = 830,398$.

Адреса **H** и **D** модальные. Величины коррекции сохраняются в памяти системы ЧПУ после отключения питания.

Таблица 9.4

Содержание корректоров в памяти СЧПУ

Номер коррекции	Адрес		Адрес	
	Геометрическая величина	Износ	Геометрическая величина	Износ
01	-350,200	0,130	-32,120	0,012
02	830,500	-0,102	52,328	-0,008
.
.

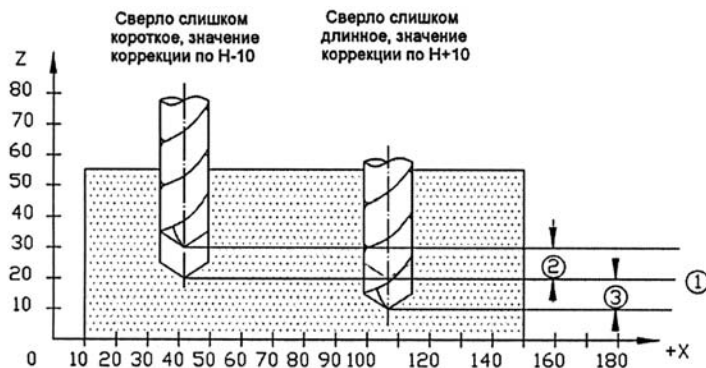


Рис. 9.41. Пример ввода знаков коррекции длины инструмента в таблицу корректоров:

- 1 — запрограммированная глубина сверления; 2 — значение коррекции «-»;
- 3 — значение коррекции «+»

9.10.1. Задание величины коррекции в корректор УЧПУ

Формат: **G10 R L P**,

где **R** — величина коррекции, переносимая в корректор; **L** — выбор вида коррекции:

- **L10** означает, что установка относится к геометрической величине коррекции длины (адрес **H**);

- L11 означает, что установка относится к износу коррекции длины (адрес H);
- L12 означает, что установка относится к геометрической величине коррекции радиуса (адрес D);
- L13 означает, что установка относится к износу коррекции радиуса (адрес D);
- P — номер изменяемой величины коррекции.

9.10.2. Коррекция вылета инструмента H (G43, G44, G49)

Путем коррекции вылета инструмента исходная точка инструмента *E* (см. рис. 9.40) смещается от торца шпинделя к острию инструмента. На основе величины, заданной в корректоре, система ЧПУ осуществляет правильное позиционирование инструмента по координатным осям станка.

Коррекция длины инструмента задается путем программирования адреса H в УП совместно с функциями G43, G44.

Формат: **G43 q H** или **G44 q H**,

где **q** — ось, к которой применяется коррекция вылета инструмента (*x, y, z, U, W, A, B, C*); **H** — номер корректора, откуда взята коррекция вылета инструмента.

Команда G43 добавит коррекцию (данную в адресе H) к координате конечной точки, полученной в ходе операции:

G43 — коррекция положительная (знак «плюс»).

Команда G44 уменьшит координату конечной точки на величину коррекции (заданную в адресе H):

G44 — коррекция отрицательная (знак «минус»).

Если было запрограммировано дискретное перемещение *Z*, равное нулю, каждая команда **G43 G91 Z0 H1** и **G44 G91 Z0 H1** даст перемещение, равное вылету инструмента. При G43 перемещение будет положительным или отрицательным в зависимости от коррекции в H1.

Коррекция инструмента может быть определена по нескольким осям одновременно.

Например,

G43 Z250 H15

G43 W310 H16

Когда несколько осей выбираются в кадре, коррекция вылета инструмента учитывается для каждой выбранной оси:

G44 X120 Z250 H27

Когда величина коррекции изменяется вызовом нового адреса H, предыдущая будет стерта и новая величина будет действительной:

H1=10, H2=20

G90 G00

G43 Z100 H1 перемещение по $Z = 110$

G43 Z100 H2 перемещение по $Z = 120$

G43, G44 являются модальными функциями.

Команда G49 (или H00) отменяет коррекцию вылета инструмента.

Пример G43 (рис. 9.42). Рассмотрим операцию сверления с учетом коррекции на вылет инструмента.

Вылет сверла $H1 = 400$.

- N1 G90 G0 X500 Y600 выход в позицию в плоскости X, Y
- N2 G43 Z410 H1 перемещение по Z в координату 410 с учетом коррекции H1
- N3 G1 Z100 F180 сверление по Z до координаты 100 с подачей F180
- N4 G4 P2 пауза 2 секунды
- N5 G0 Z1100 H00 выход сверла по Z в координату 700 с учетом сброса коррекции
- N6 X-800 Y-300 позиционирование в исходную позицию в плоскости X, Y

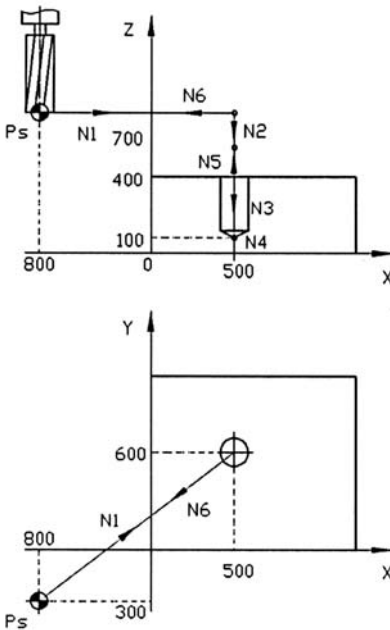


Рис. 9.42. Пример коррекции вылета инструмента (G43, G44)

9.10.3. Коррекция диаметра инструмента (D-функция)

Эта коррекция касается расстояния R между режущей кромкой инструмента и его осевой линией. Путем проведения геометрической коррекции радиусов инструментов исходная точка инструмента E смещается от осевой линии инструмента (см. рис. 9.40). Это значение вводится в регистр коррекции диаметра инструмента D .

9.10.3.1. Функции коррекции на перемещение инструмента (G45–G49)

G45 — значение коррекции добавляется к перемещению.

G46 — значение коррекции вычитается из перемещения.

G47 — значение коррекции добавляется к перемещению дважды.

G48 — значение коррекции вычитается из перемещения дважды.

Любая из функций G45–G48 будет эффективной с коррекцией, выбранной по адресу D, до тех пор, пока другое значение коррекции не будет выбрано вместе с функциями G45–G48. Данные функции не являются модалными и действуют только в том кадре, в котором они определены.

При работе в абсолютных координатах смещение будет представлять разницу между конечной точкой в текущем кадре и конечной точкой, достигнутой в предыдущем кадре. Любое приращение или уменьшение происходит в направлении, соответствующем перемещению. На рис. 9.43, а–г даны примеры добавления положительной и отрицательной коррекции по функции G45 к заданному перемещению. Если программируется G47, коррекция добавляется к перемещению дважды.

Если после функций G45–G48 в кадре будет запрограммировано перемещение по нескольким осям, то результат действия коррекции

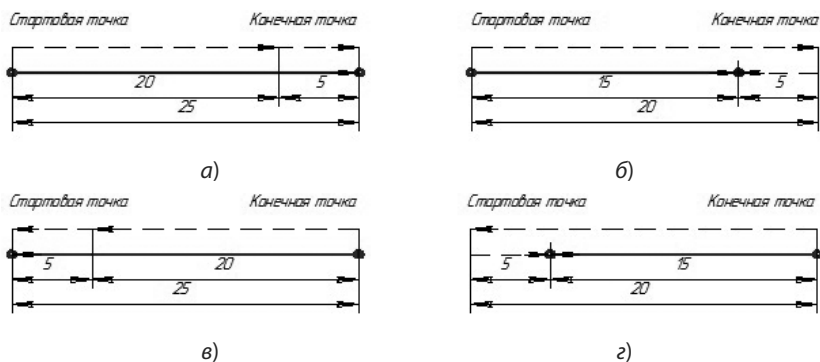


Рис. 9.43. Примеры добавления коррекции к перемещению (функция G45):
а — величина перемещения 20, коррекция 5; б — величина перемещения 20, коррекция -5; в — величина перемещения -20, коррекция -5; г — величина перемещения -20, коррекция 5

будет применим к каждой из осей на величину, точно определенную адресом D. Например, D1=30 — команда **G91 G45 G1 X100 Y40 D1** произведет перемещение оси X в точку X = 130, а оси Y в точку Y = 70 (рис. 9.44).

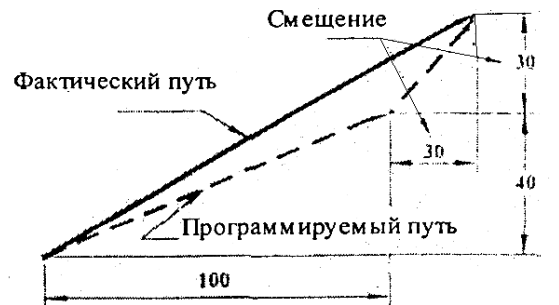


Рис. 9.44. Коррекция при перемещении по двум осям (G45)

Пример программирования контура с заданием коррекции на перемещение при использовании функций G45—G48 дан на рис. 9.45.

Пример: D1=10

```

N1G91G46G0X40
  Y40D1
N2G47G1Y100F180
N3 G47 X40
N4 Y-40
N5 G48 X60
N6Y40
N7 G47 X20
N8 G45 Y-0
N9 G46 G3 X40 Y-40
  I40
N10G45G1X0
N11G45Y-20
N12G45G2X-40Y-40
  I-40
N13 G45 G1 X-120
N14G46G0X-40Y-40
  
```

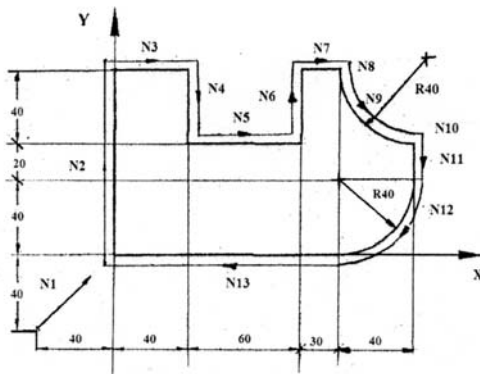


Рис. 9.45. Пример программирования контура с заданием коррекции на перемещение

9.10.3.2. Коррекция радиуса инструмента в плоскости (G40, G41, G42)

Чтобы обработать контур в двухмерной системе координат и записать в УП точки этого контура согласно чертежу (независимо от диаметра используемого инструмента), система ЧПУ должна перемещать центр инструмента по траектории (параллельно запрограммированному контуру), находящейся на расстоянии радиуса инстру-

мента R от контура. Система ЧПУ определяет расстояние между траекторией центра инструмента и запрограммированным контуром в соответствии с величиной коррекции радиуса инструмента, записанной в номере корректора D (рис. 9.46).

Вектор коррекции (компенсации) — это вектор, лежащий в двухмерной плоскости и пересчитываемый в каждом кадре системой для определения с его помощью запрограммированных смещений, действующих в начале и конце каждого кадра. Длина и направление каждого вектора коррекции изменяются с величиной коррекции, вызываемой по адресу D , и геометрией перемещения между двумя кадрами.

Векторы коррекции вычисляются в плоскости, выбранной с помощью команд $G17$, $G18$ и $G19$. Это плоскость коррекции радиуса инструмента. Перемещения вне этой плоскости не обрабатывают коррекцию радиуса. Если, например, командой $G17$ выбрана плоскость XU , векторы коррекции будут вычисляться в этой плоскости. В этом случае любое перемещение в другой плоскости не будет осуществляться с коррекцией.

$G40$ — отмена коррекции на радиус инструмента.

$G41$ — ввод коррекции на радиус инструмента, инструмент слева от детали.

$G42$ — ввод коррекции на радиус инструмента, инструмент справа от детали.

Команда $G41$ или $G42$ включает расчет коррекции на радиус инструмента. При $G41$ или $G42$ программируемый контур будет прохо-

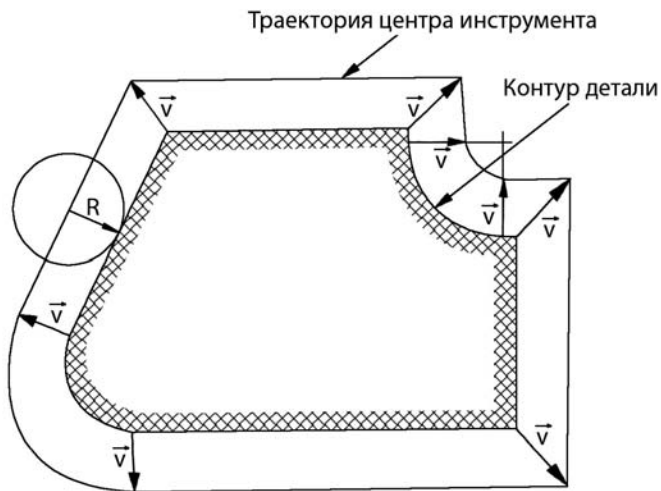


Рис. 9.46. Коррекция радиуса инструмента в плоскости ($G40$, $G41$, $G42$)

дить соответственно слева или справа от детали (по отношению к направлению перемещения) (рис. 9.47).

Величина коррекции на радиус инструмента определяется по адресу D. Определение D00 всегда эквивалентно нулевому значению радиуса. Расчет коррекций доступен при интерполяции перемещений согласно командам G00, G01, G02, G03.

Команды G40 или D00 отключают расчет коррекции.

Команды G40, G41, G42 являются модалными. Система устанавливает по умолчанию функцию G40 после ее включения, в конце программы или в случае изменения режима работы; при всех этих факторах векторы коррекции радиуса будут стерты.

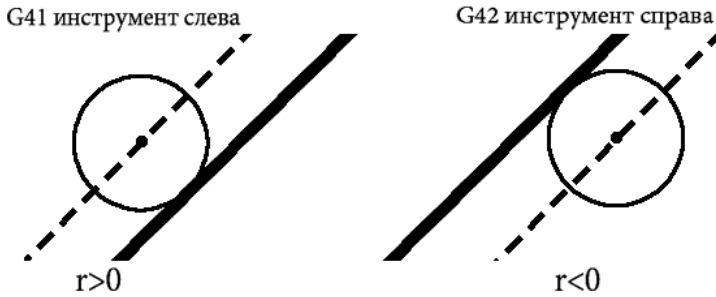


Рис. 9.47. Расчет коррекции на радиус инструмента (G41, G42)

РАЗДЕЛ 10

КОНТРОЛЬ УП И НАСТРОЙКА СТАНКА С ЧПУ НА ИЗГОТОВЛЕНИЕ ДЕТАЛИ

10.1. КОНТРОЛЬ УП ДЛЯ СТАНКОВ С ЧПУ

Контроль УП проводится как вне станка, так и непосредственно на станке с ЧПУ.

Контроль УП вне станка с ЧПУ. При *ручном программировании* проводится на специальных графопостроителях, связанных с системой ЧПУ. Целью контроля является визуальная проверка соответствия вычерчиваемой траектории обрабатываемому контуру, а также проверка координат опорных точек траектории по показаниям индикации системы ЧПУ.

При *автоматизированном программировании* контроль УП проводится на экране дисплея ЭВМ: имитацией обработки; проверкой контуров моделируемых зон обработки; проверкой координат автоматически рассчитанных опорных точек траекторий; созданием следа движения инструмента и т.д.

Контроль УП на станке осуществляется:

1) при отработке УП «вхолостую», т.е. без установки инструмента, оснастки, заготовки. Целью является выявление грубых ошибок, связанных с расчетами и нанесением программы на программно-ситель. При движении рабочих органов контролируется правильность показаний лимбов на пульте станка по всем координатам в соответствующих контрольных точках УП и возвращение органов станка в исходную точку программы. Если рабочие органы станка не возвращаются в исходную точку и показания лимбов в контрольных точках не соответствуют РТК, то возможны несколько причин, вызвавших эти ошибки, например: некачественная запись, связанная с неисправностью аппаратуры записи; дефекты перфоленты; ошибки при расчете УП, кодировании информации, перфорации;

2) при отработке УП на листе металла (или другом материале). Для этого в шпиндель станка устанавливается режущий инструмент (например, фреза расчетного диаметра). Осуществляется подвод инструмента в металл для получения «следа» инструмента. Затем отключается на станке ось, отвечающая за последующее врезание инструмента. После отработки УП проверяются размеры фрезеруемого контура детали.

Наиболее характерными ошибками являются: несоответствие расчетного и фактического диаметров инструмента; ошибки расчета и записи программ; ошибки расчета и кодирования величины подачи;

3) при обработке УП изготовлением контрольной детали. Обработка производится с применением оснастки и инструмента, отвечающих требованиям РТК. Целью является проверка принятых технологических решений, режимов резания, внедряемой оснастки, а также соответствия всех размеров изготовленной детали чертежу.

10.2. НАСТРОЙКА СТАНКА С ЧПУ НА ИЗГОТОВЛЕНИЕ ДЕТАЛИ

Настройка станка включает:

- 1) выбор (согласно разработанной РТК и карте наладки инструментов) необходимого режущего инструмента определенного диаметра D и вылета L и инструментальной оснастки (см. п. 7.1.3);
- 2) сборку инструментальных оправок и режущих инструментов;
- 3) измерение собранных инструментальных оправок с режущим инструментом (определение реального положения фиксированной точки B для каждого инструмента);
- 4) задание в систему ЧПУ измеренных параметров D и L для каждого инструмента с целью проведения последующей коррекции;
- 5) установку и точную ориентацию приспособления на столе станка;
- 6) установку и закрепление заготовки в приспособлении;
- 7) определение на станке нулевой точки детали, исходной точки инструмента, исходной точки программы и их взаимного расположения (увязка системы координат станка с системой координат программируемой детали).

10.2.1. Сборка инструментальных оправок и режущих инструментов

Выбранный режущий инструмент и необходимая для его базирования инструментальная оправка собираются в специальном приспособлении, устанавливаемом на столе станка. Чертеж такого приспособления представлен на рис. 10.1. В приспособлении имеется ответное отверстие под конус оправки для ее базирования. Для закрепления оправки в приспособлении имеется винт, который фиксирует оправку в определенном положении. В оправку до упора вворачивается цапга с определенным усилием, для контроля усилия затяжки используется специальный динамометрический ключ. Инструмент вставляется в оправку и затягивается сверху гайкой. Гайка заворачивается также с определенным усилием, которое контролируется с помощью динамометрического ключа.

Последовательность сборки оправки с осевым инструментом (сверла) показана на рис. 10.2. Полученная сборочная единица «оправка — инструмент» (рис. 10.2, *e*) может быть измерена либо непосредственно на станке, либо вне станка на специальном приборе для настройки инструментов.

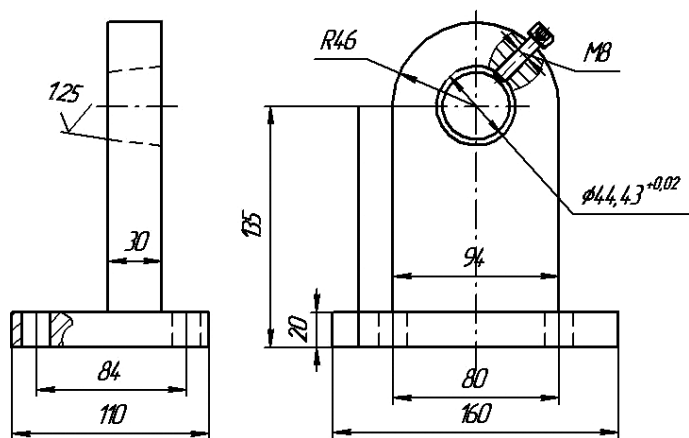


Рис. 10.1. Чертеж приспособления для сборки инструментальной оправки

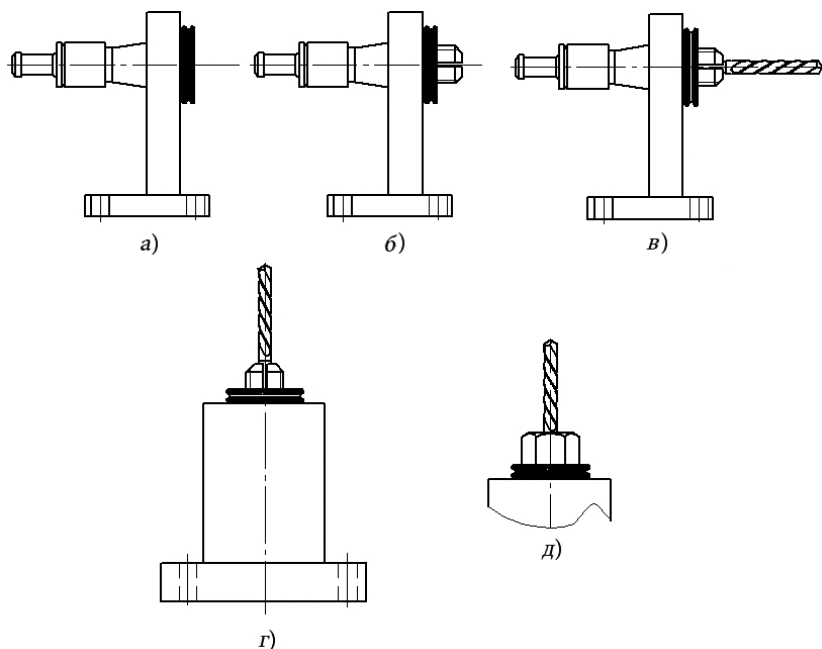


Рис 10.2. Последовательность сборки оправки с осевым инструментом (сверлом):

- a* — оправка вставляется в приспособление, базируется по конусу и закрепляется винтом; *б* — в оправку вворачивается цапга; *в* — в оправку вставляется инструмент; *г* — переустановка инструментальной оправки в приспособление для наворачивания на цапгу; *д* — завинчивание гайки для закрепления инструмента в оправке

10.2.2. Измерение параметров инструментов

Измерение на станке. Для точного измерения инструментов на станке используются различные измерительные системы типа инструментальной системы *TT130* фирмы *Heidenhain* (рис. 10.3). Данная система может использоваться для измерения вылета L и диаметра D любого типа инструмента в случае остановленного или вращающегося шпинделя, измерения зубьев фрез, износа инструмента и контроля поломки инструмента (рис. 10.4). Система ЧПУ автоматически сохраняет результаты измерения в памяти для использования в УП.

Измерение вне станка. Для измерения инструментов вне станка используются измерительные приборы для размерной настройки инструмента типа *Meccanica speron*, *SDI 300*, *TOOLSET TS 240* и т.п. Они предназначены для контроля геометрии инструментов, измерения линейных размеров, углов и радиусов, а также измерения радиального и торцового биения режущих кромок инструмента.

На рис. 10.5 показан внешний вид одного из приборов для настройки инструментов.

В состав приспособления входят пять основных узлов:

- станина;
- подвижная каретка;
- средство измерения инструмента;
- электронный блок индикации;
- подставка для державки инструмента.

Станина является основным несущим узлом конструкции приспособления, на котором монтируются все прочие узлы.

Подвижная каретка является несущим элементом для средства измерения инструмента. Она имеет возможность перемещаться от-

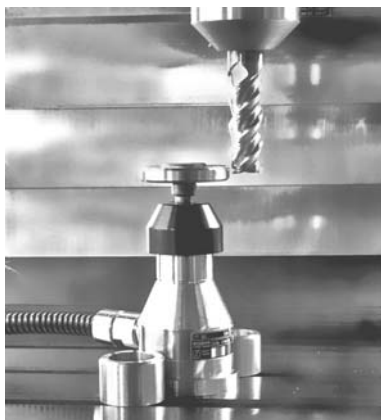


Рис. 10.3. Импульсная система *TT130* фирмы *Heidenhain* для измерения и проверки инструмента

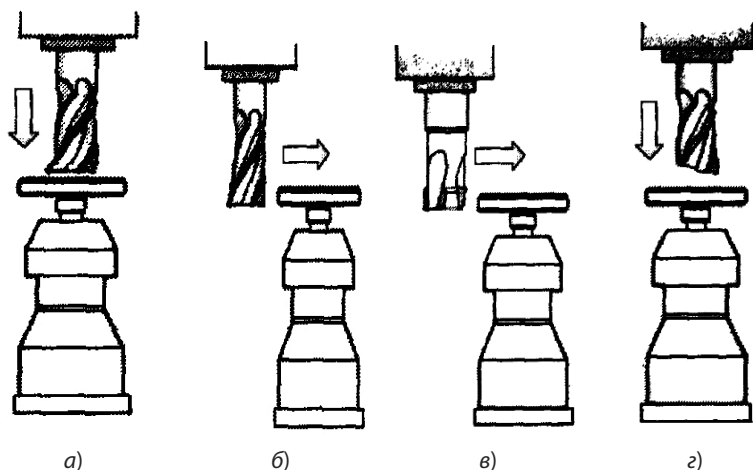


Рис. 10.4. Измерение параметров инструмента на станке с ЧПУ системой ТТ130:
 а — длины инструмента с постоянным или вращающимся шпинделем; б — радиуса инструмента с постоянным или вращающимся шпинделем; в — износа инструмента; г — контроль поломки инструмента

носителю станины в двух взаимно перпендикулярных направлениях. При этом величина каждого перемещения отсчитывается по измерительным линейкам.

Средство измерения инструмента позволяет зафиксировать момент совмещения заданного и фактического положений вершины режущего инструмента. Конструкция и принцип действия средства измерения инструмента могут быть самыми разными. Это может быть микроскоп, проектор, индикатор часового типа, шаблон и т.п.

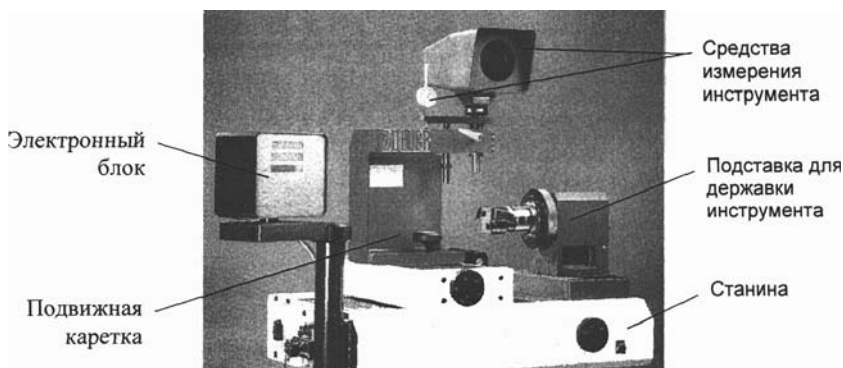


Рис. 10.5. Измерительное приспособление для настройки инструмента вне станка

В некоторых измерительных приспособлениях используется не одно, а несколько средств измерения инструмента с различными принципами действия.

Электронный блок имеет табло цифровой индикации, на котором отображается информация о направлении и величине перемещения каретки со средством измерения.

Подставка для державки инструмента имитирует присоединительные поверхности шпинделя или суппорта станка. Для этого она снабжена таким же посадочным местом для державки с инструментом и имеет такую же фиксированную точку N для инструмента, что и станок.

Рассмотрим порядок работы на приборе для настройки инструмента вне станка на примере измерения токарного резца при использовании прибора настройки с оптической системой измерения. Производится измерение величины вылета резца в двух направлениях: в направлении оси $Z - L_z$; в направлении оси $X - L_x$ — и измерение радиуса закругления вершины резца R (рис. 10.6).

Последовательность действий при измерении вылета резца следующая.

1. Установить и закрепить измеряемый токарный резец в державке, которая после измерения будет установлена на станке.
2. Установить державку в сборе с резцом в подставке измерительного приспособления.
3. Откалибровать средство измерения инструмента, совместив его нулевую точку (центр перекрестия в оптическом окуляре) с исходной точкой инструмента B .
4. Переместить подвижную каретку в положение, при котором центр перекрестия в оптическом окуляре окажется совмещенным с теоретической вершиной резца (рис. 10.7).

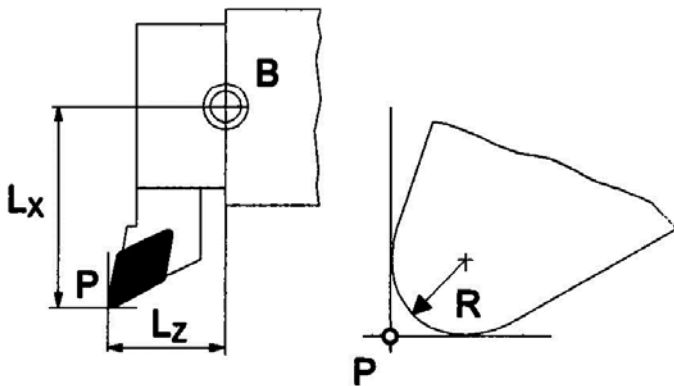


Рис. 10.6. Измерение вылета токарного резца

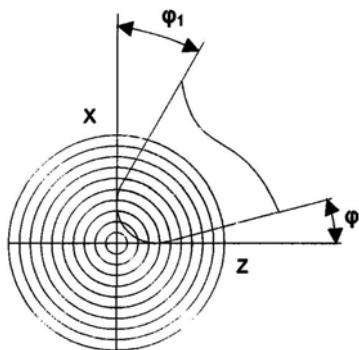


Рис. 10.7. Совмещение центра перекрестия с теоретической вершиной резца

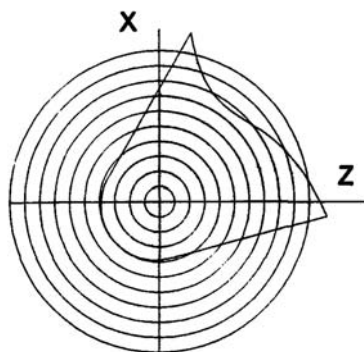


Рис. 10.8. Измерение радиуса вершины резца

5. Зафиксировать координаты данного положения каретки по показаниям табло цифровой индикации электронного блока. Данные значения координат соответствуют величинам коррекции вылета инструмента по координатным осям X и Z .

Измерение геометрии вершины резца производится при помощи кольцевых линий и перекрестия оптического окуляра (рис. 10.8).

При помощи кольцевых линий выполняется измерение радиуса закругления вершины резца. Для этого необходимо перемещать каретку приспособления до совмещения изображения закругленной части вершины резца с одной из кольцевых линий окуляра. Кольцевые линии в окуляре выполняются с определенными диаметрами; поэтому, зная размерный шаг кольцевых линий, определяют величину закругления вершины резца.

Последовательность действий при измерении осевого инструмента (на примере сверла):

- 1) установить в шпиндель прибора эталонную оправку (рис. 10.9);

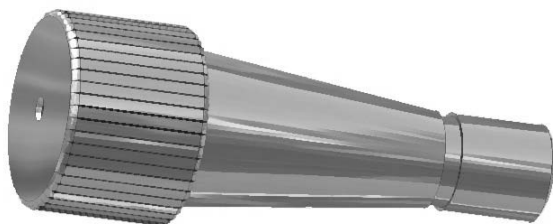


Рис. 10.9. Эталонная оправка для настройки осевого инструмента

2) настроить прибор на эталонную оправку (в центре перекрестия оптического окуляра должна быть середина верхней кромки оправки);

3) обнулить показания координат вылета и диаметра эталонной оправки;

4) установить измеряемую оправку с осевым инструментом в шпиндель прибора (рис. 10.10);

5) выставить центр перекрестия оптического окуляра на край — для фрезы, или к вершине — для сверла (рис. 10.11);

6) поворачивая оправку с инструментом, определить максимальную длину кромки, она будет задавать абсолютный диаметр;

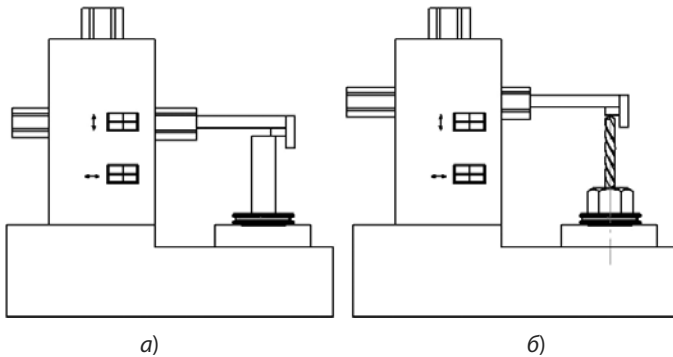


Рис. 10.10. Измерение параметров осевого инструмента на приборе настройки:
а — установка эталонной оправки; б — установка измеряемого инструмента

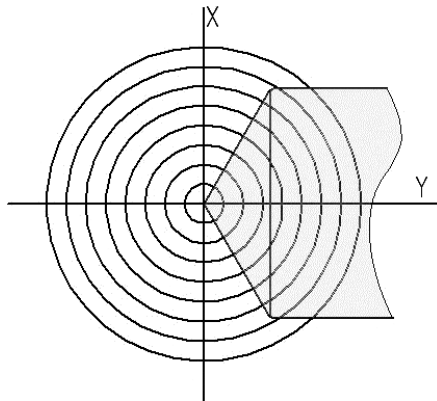


Рис. 10.11. Совмещение центра перекрестия с вершиной сверла

7) зафиксировать координаты положения каретки по показаниям цифровой индикации. Данные значения соответствуют абсолютному значению диаметра и вылета инструмента, которые в дальнейшем заносятся в регистры коррекции СЧПУ (см. п. 9.11).

10.2.3. Установка и точная ориентация приспособления на столе станка (выравнивание)

Точная ориентация приспособления относительно координатных осей станка (выравнивание) необходима для устранения погрешности базирования приспособления на столе станка.

Рассмотрим процесс ориентации приспособления на фрезерном станке с ЧПУ с горизонтальной компоновкой шпинделя.

Последовательность действий

Установить приспособление на столе станка (рис.10.12, а, б).

На рисунке базирование приспособления осуществляется по центральному базовому отверстию, расположенному в центре зер-

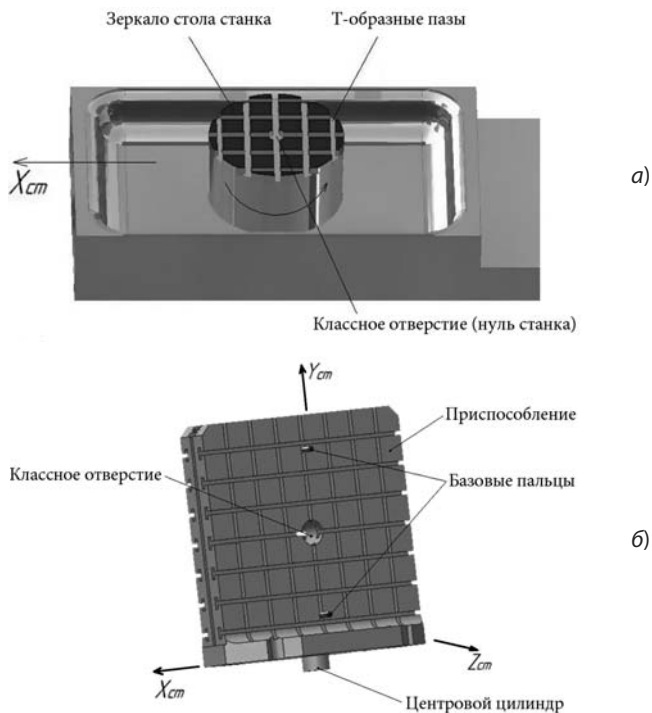


Рис. 10.12. Установка приспособления на стол фрезерного станка: а — стол станка; б — приспособление

кала стола, и базовому цилиндрическому пальцу на нижней поверхности приспособления (после установки приспособление на столе может иметь разворот вокруг своей оси).

Вставить в шпиндель станка прибор для контроля параллельности оси приспособления (рис. 10.13).

Выполнить точную ориентацию приспособления в направлении оси X . Для этого на величину разницы в показаниях индикатора в точках 1, 2 (рис. 10.14) сместить приспособление в нужном направлении.

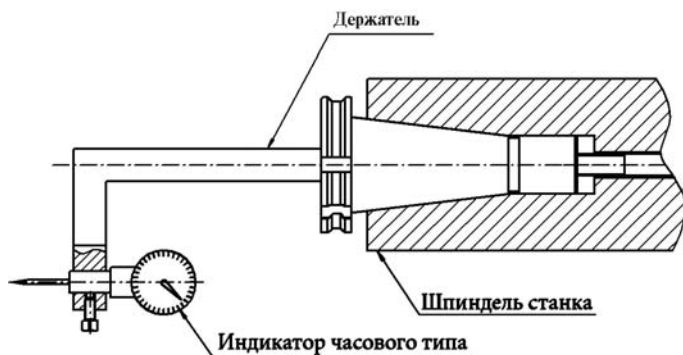


Рис. 10.13. Прибор для контроля параллельности приспособления

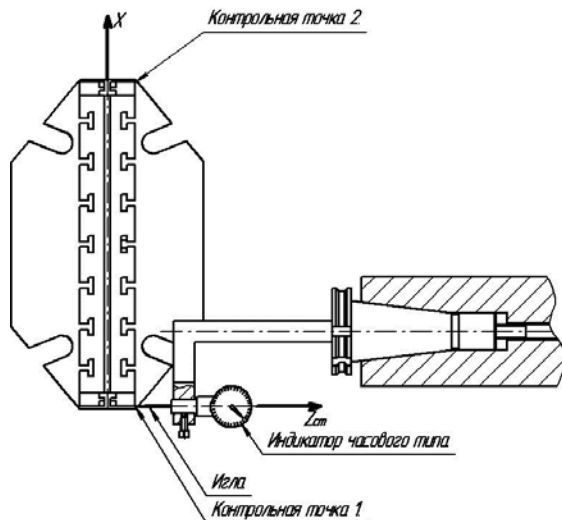


Рис. 10.14. Точки измерения положения приспособления в направлении оси X

Выполнить точную ориентацию приспособления в направлении оси Y . Для этого измерить контрольные точки 3, 4 на приспособлении (рис. 10.15). Если существует разница в показаниях индикатора, необходимо проверить базы и сместить приспособление в нужном направлении.

Использование на станках с ЧПУ специальных измерительных систем, таких как, например, импульсная система *TS 220* фирмы *Heidenhain* (рис. 10.16), позволяет устранить трудоемкое ручное выравнивание приспособления (заготовки). Измерительный шуп системы *TS 220* исследует поверхность (либо отверстие) и дает сигнал для ЧПУ на проведение компенсации. Компенсация возможна либо вращением системы координат детали (рис. 10.17, *a*), либо вращением поворотного стола (рис. 10.17, *б*).

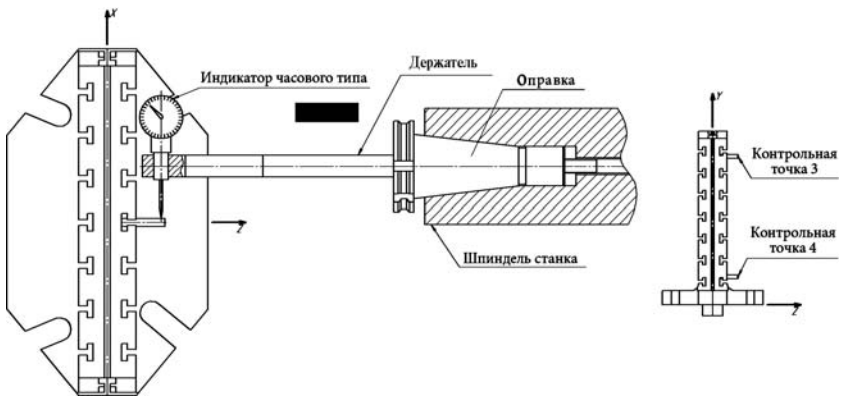


Рис. 10.15. Точки измерения положения приспособления в направлении оси Y



Рис. 10.16. Измерительная импульсная система *TS 220* (фирмы *Heidenhain*)

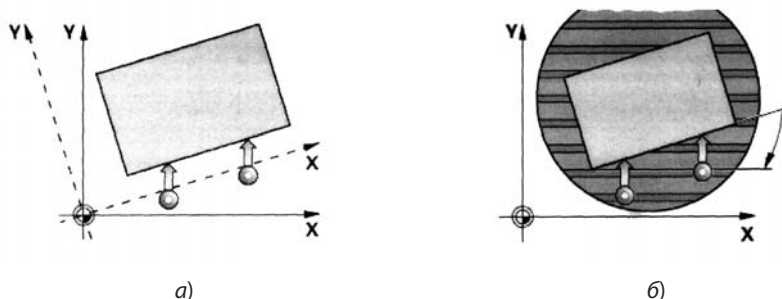


Рис. 10.17. Автоматическое «выравнивание» приспособления (заготовки) при использовании измерительной системы TS 220:

a — компенсация через вращение системы координат детали; *b* — компенсация за счет вращения стола

10.2.4. Определение на фрезерном станке с ЧПУ положений нулевой точки детали W , исходной точки инструмента E и исходной точки программы P_s

Система координат детали W задана программистом на углах детали (рис. 10.18).

10.2.4.1. Определение положения нуля детали W и исходной точки программы P_s по оси X и Y на станке (рис. 10.19, *a, б*; рис. 10.20, *a, б*)

Последовательность действий при настройке.

1. Возвратить оси станка в нулевую точку станка M .
2. Вставить инструмент в шпиндель станка.
3. В шаговом режиме переместить инструмент к плоскости X -оси детали на расстояние не более 25 мм, причем эта плоскость пересекается с углом, используемым в качестве относительного положения.

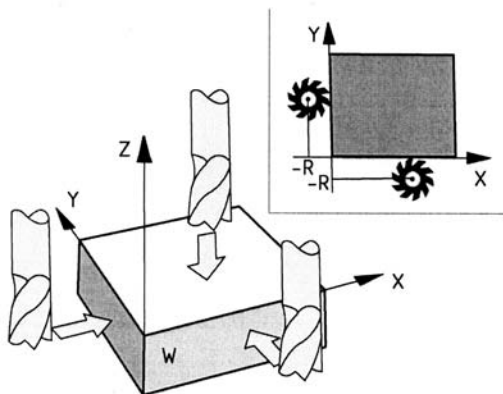


Рис. 10.18. Расположение нуля детали в углу детали

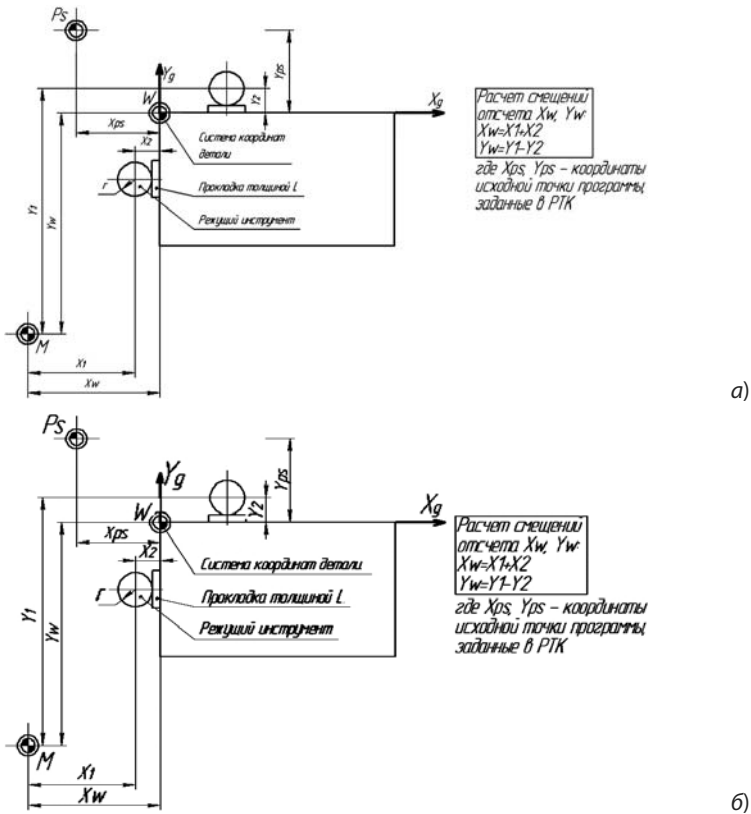


Рис. 10.20. Вычисление величины смещений рабочих органов станка при определении нуля детали W и исходной точки программы Ps :
 а — нуль детали W задан в заднем левом углу детали; б — нуль детали W задан в заднем правом углу детали

10. В шаговом режиме переместить инструмент к плоскости Y -оси детали на расстояние максимум 25 мм, причем эта плоскость пересекается с углом, используемым в качестве относительного положения.
11. Наложить на плоскость Y -оси детали прокладку.
12. Ручным маховичком переместить инструмент к детали так, чтобы он слегка коснулся прокладки. При смещении прокладки должно ощущаться слабое сопротивление.
13. Отметить в регистре положений станка координату Y -оси.
14. Пересчитать данные значения координаты инструмента с учетом радиуса инструмента и толщины прокладки и внести полученное значение в систему ЧПУ.

15. Нажать клавишу обнуления системы отсчета координат на пульте станка.
16. Ручным маховичком отвести от детали инструмент в исходную точку программы P_s по координатам X_{ps} , Y_{ps} , заданным в РТК. Согласно представленным рисункам:

X_{ps} — координата X исходной точки программы P_s , заданная программистом в РТК и используемая при подготовке УП;

Y_{ps} — координата Y исходной точки программы P_s , заданная программистом в РТК и используемая при подготовке УП;

r — радиус режущего инструмента, используемый при настройке;

L — толщина мерной пластины, используемой при настройке;

X_2 , Y_2 — настроечное перемещение;

X_1 — вычисляемое перемещение по координате X , на которое необходимо переместить рабочий орган станка, чтобы найти исходную точку программы;

Y_1 — вычисляемое перемещение по координате Y , на которое необходимо переместить рабочий орган станка, чтобы найти исходную точку программы.

10.2.4.2. Определение положения нуля детали W и исходной точки программы P_s по оси Z на станке (рис. 10.21)

Последовательность действий при определении положения по координате Z поведим аналогично п. 10.2.4.1.

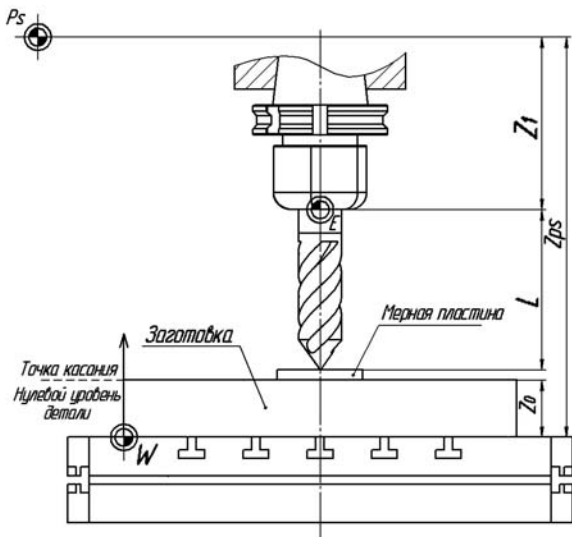


Рис. 10.21. Определение положения системы

РАЗДЕЛ 11

ЭКСПЛУАТАЦИЯ СТАНКОВ С ЧПУ, ОСОБЕННОСТИ ИХ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ И РЕМОНТА

Как было показано в предыдущих разделах, станки с ЧПУ являются современным высокоавтоматизированным и высокопроизводительным технологическим оборудованием с широкими технологическими возможностями и высокой мобильностью. Их применение позволяет проводить с высокой эффективностью ранее невозможную или малоэффективную автоматизацию среднесерийного и мелкосерийного производства. С другой стороны, это сложное и дорогостоящее технологическое оборудование, требующее тщательного анализа при решении о его покупке и особого обращения с ним в процессе внедрения и эксплуатации, а также во многом обновления организации самого производства.

Поэтому, принимая решение о закупке и внедрении станков с ЧПУ, необходимо понимать, что сам станок с ЧПУ является как бы только верхушкой айсберга, сверкающей в лучах солнца (рис. 11.1), а проблемы, которые надо будет решать при его внедрении и эксплуатации (а их достаточно), находятся в той части айсберга, которая под водой, и поэтому невидимы.

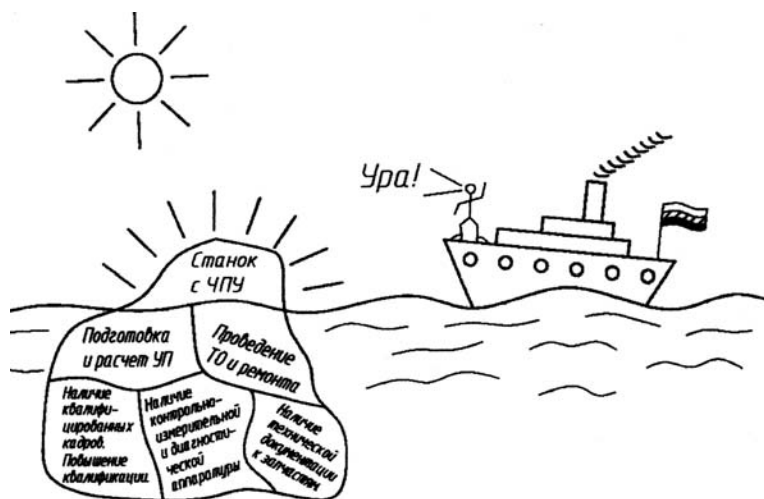


Рис. 11.1. Особенности при выборе и внедрении станков с ЧПУ

11.1. ОСНОВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ К УСЛОВИЯМ ЭКСПЛУАТАЦИИ СТАНКОВ С ЧПУ

Процесс эксплуатации станков с ЧПУ представляет собой совокупность мероприятий, включающую транспортирование и монтаж, настройку и наладку, контроль геометрической и кинематической точности, уход, техническое обслуживание и ремонт, а при необходимости — консервацию и упаковку.

Транспортирование станков с ЧПУ необходимо осуществлять строго по инструкции, указанной в руководстве по их эксплуатации.

Очень важным вопросом является правильная установка станка на фундамент, который должен служить надежным основанием. При этом необходимо обеспечивать максимальное использование возможностей станка по производительности и точности в течение заданного срока службы, а также исключить его влияние на работу соседнего оборудования.

Способы установки станков можно разделить на две группы: жестко (фундаментом служит плита или блок, опирающийся на естественное основание или перекрытие) и упруго (фундаментом служит бетонный блок, опирающийся на упругие опорные элементы — резиновые коврики, пружины и т.д., или станок устанавливается непосредственно на упругие элементы — резиновые коврики, резино-металлические опоры и т.д.).

При *жесткой* установке станка станина и фундамент деформируются одновременно, величины упругих перемещений и уровень колебаний под действием силовых факторов в станке меньше, чем при упругой установке, но вся система чувствительна к внешним возмущениям — осадкам и колебаниям основания.

При *упругой* установке станок изолирован от внешней среды, но уровень перемещений и колебаний от возмущений, действующих в нем, больше.

Наиболее эффективным, но и наиболее дорогим средством виброизоляции, применяемым для особо точных станков, являются фундаменты на пружинах, а наиболее дешевым, обеспечивающим удовлетворительную степень виброизоляции для большинства станков средних размеров, — упругие виброизолирующие опоры.

Для станков с ЧПУ в связи с высокими требованиями к точности при значительных динамических нагрузках наиболее рациональной оказывается установка на индивидуальных фундаментах или на полу из бетонных плит, разделенных деформационными швами. При этом толщина плит должна приниматься большей, чем для обычных станков той же массы (порядка 0,4–0,6 м). Установка таких станков на резино-металлические опоры, при которой колебания элементов станка оказываются значительно

выше, чем при жесткой установке, в большинстве случаев не используется.

В тех случаях, когда станки с ЧПУ долго не работают и будут перебазироваться на новое место, может производиться их консервация и упаковка, предохраняющая станки от механических и физико-химических воздействий. Перед упаковкой производится консервация всех металлических поверхностей (обработанных и необработанных), за исключением имеющих лакокрасочные покрытия.

Упаковывается станок во внутреннюю и внешнюю тару. В качестве внутренней тары применяются чехлы из полимерных пленок, в качестве внешней тары — деревянные ящики. Чехлы должны быть герметичными, а для предотвращения конденсации влаги внутри чехла необходимо закладывать влагопоглощающее вещество — силикагель. Упаковочные ящики должны иметь конструкцию, обеспечивающую жесткость тары, сохранность станков при транспортировке, экономию лесоматериалов, и низкую стоимость изготовления.

11.2. ИСПЫТАНИЯ СТАНКОВ С ЧПУ

Укрупненно все испытания станков можно разделить на два вида: исследовательские и контрольные.

Исследовательские испытания проводятся с целью углубленного анализа и выявления путей совершенствования существующих станков, доводки и определения технологических возможностей новых станков, а также восстановления работоспособности и обеспечения эффективного использования эксплуатируемых станков.

Контрольные испытания проводятся с целью контроля качества станков путем проверки соответствия фактических характеристик установленным требованиям.

Все выпускаемые станки с ЧПУ подвергаются приемо-сдаточным испытаниям, целью которых является проверка качества их изготовления, сборки и регулировки и соответствие их нормативам и техническим условиям. Испытания производятся, как правило, на заводах-изготовителях.

Установка и выверка станка. Установка станка перед испытанием, выверка его по уровню и затяжка фундаментных болтов должны проводиться в соответствии с указаниями, приведенными в эксплуатационных документах. Допускаемые отклонения при выверке станков по уровню не должны превышать 0,04 мм/м для станков классов точности Н и П и 0,02 мм/м — для станков более высокого класса точности.

Отклонение температуры окружающей среды от номинала в период проверок не должно превышать:

- для станков классов точности С — $\pm 0,5^\circ\text{C}$;
- для станков классов точности А и В — $\pm 0,1^\circ\text{C}$.

Предварительное опробование. Проверяется работа всех органов управления, переключений; проводится испытание электрооборудования.

Испытания на холостом ходу. Проверяют все частоты вращения от n_{\min} до n_{\max} , подачи от S_{\min} до S_{\max} , работоспособность всех механизмов (патрона, пиноли, механизмов быстрого перемещения и др.). Проверяется правильность функционирования электрооборудования, системы смазывания и системы охлаждения. Испытывается механизм главного привода на режимах частых пусков, остановов и реверсирования. Определяются уровни шума и уровни частотных составляющих спектра шума при работе станка на холостом ходу. Проводятся испытания на вибрации, измеряются температурные деформации при работе станка на холостом ходу.

Испытания под нагрузкой. Проводятся при нагружении привода главного движения станка максимальным крутящим моментом с помощью различных нагружающих устройств. При испытаниях контролируется мощность, потребляемая электродвигателем привода главного движения из сети, с последующим определением КПД привода.

Испытания на точность. В соответствии с ГОСТ 8–82 устанавливаются общие требования к испытаниям на точность металлорежущих станков с ЧПУ, которая определяется тремя группами показателей:

- 1) показателями, характеризующими геометрическую точность станков;
- 2) показателями, характеризующими точность обработки образцов-изделий;
- 3) дополнительными показателями.

К показателям *первой группы* относятся:

- точность баз для установки заготовки и режущего инструмента;
- точность траекторий перемещений рабочих органов станка;
- точность расположения осей вращения и направлений прямолинейных перемещений рабочих органов станка относительно друг друга и относительно баз;
- точность взаимосвязанных относительных линейных и угловых перемещений рабочих органов станка;
- точность делительных и установочных перемещений рабочих органов станка;
- точность координатных перемещений (позиционирования) рабочих органов станка;

- стабильность некоторых параметров при многократности повторений проверки, например точность подвода на жесткий упор, точность малых перемещений подвода.

К показателям *второй группы* относятся:

- точность геометрических форм и расположения обработанных поверхностей образцов-изделий;
- постоянство размеров партии образцов-изделий;
- шероховатость обработанных поверхностей образцов-изделий.

К *дополнительным показателям* относятся способность сохранения взаимного расположения рабочих органов станка, несущих заготовку и инструмент, при условии:

- приложения внешней нагрузки;
- воздействия теплоты, возникающей при работе станка на холостом ходу;
- колебаний станка, возникающих при работе на холостом ходу.

Испытанию на точность должен подвергаться каждый изготовленный на предприятии-изготовителе станок с ЧПУ и каждый станок, прошедший средний и капитальный ремонт.

Перечень всех проводимых проверок и их результаты указываются в паспорте каждого станка в разделе «Нормы точности».

Для станков с ЧПУ проводятся в обязательном порядке две новые проверки их точности:

- 1) проверка точности позиционирования рабочих органов на холостом ходу при управлении от системы ЧПУ;
- 2) проверка точности обработки конкретно заданных образцов-изделий на данном станке с регламентацией режимов обработки.

Проверка точности позиционирования производится в соответствии с ГОСТ 27843–88.

Данная проверка может проводиться при помощи:

- штриховой меры и микроскопа;
- измерительной линейки с дискретным линейным интервалом и прибором для измерения длины;
- измерительной линейки и электронного преобразователя;
- лазерного интерферометра;
- автоколлиматора;
- углового преобразователя.

Измерения должны проводиться на холостом ходу с исключением влияния сил резания и массы заготовки вблизи рабочей поверхности подвижного рабочего органа станка (поверхности стола, суппорта) в середине рабочего пространства.

В каждом заданном положении рабочего органа станка должно проводиться не менее пяти измерений.

При проверке определяют параметры точности позиционирования, которые устанавливают в стандартах на нормы точности

станков с ЧПУ конкретных типов из следующего перечня (рис. 11.2):

- точность двустороннего позиционирования A ;
- повторяемость двустороннего позиционирования R_{\max} ;
- максимальная зона нечувствительности B_{\max} ;
- точность одностороннего позиционирования $A\uparrow$ и $A\downarrow$;
- повторяемость одностороннего позиционирования $R\uparrow$ и $R\downarrow$.

Общие технические требования к образцам-изделиям для проверки точности их обработки на станках с ЧПУ устанавливаются в ГОСТ 25443–82.

В качестве примера на рис. 11.3 показаны образцы-изделия, применяемые при проверке точности фрезерных вертикальных станков с ЧПУ с крестовым столом (по ГОСТ 9726–89).

При обработке первого образца-изделия (рис. 11.3, а) проверяется точность межосевых расстояний отверстий. В стандарте указываются числовые значения допусков, который должен быть получен (например, для станка класса точности П для межосевого расстояния свыше 125 мм до 200 мм установлен допуск — 40 мкм).

При обработке образца-изделия, показанного на рис. 11.3, б, проверяются: точность формы отверстия (круглость и постоянство диаметра); прямолинейность боковых поверхностей повернутого параллелепипеда; точность положения наклонной под углом 5° поверхности; круглость наружной цилиндрической поверхности. По всем этим параметрам также установлены допуски, которые необходимо получить.

Испытание станка на жесткость. Проводится статическим нагружением, при котором нагружающее усилие создается нагрузочным устройством, в качестве которого могут быть использованы меха-



Рис. 11.2. Пример графиков, построенных по результатам измерений точности позиционирования

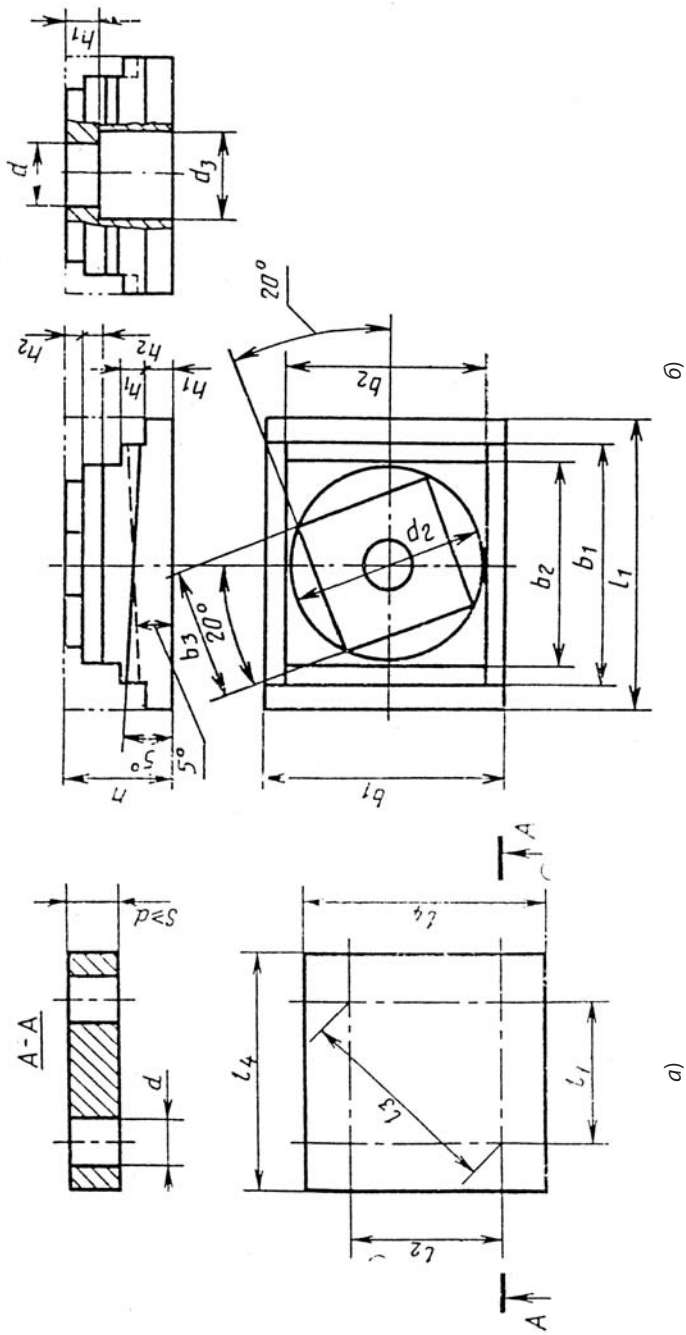


Рис. 11.3. Образцы-изделия, обрабатываемые на фрезерном станке с ЧПУ при проверке его точности:
 а — плита с расточкой отверстий; б — заготовка с фрезерованием поверхностей

низмы станка или специальные домкраты, а для измерения нагрузок — рабочие динамометры. Направление, величина и координаты точки приложения нагружающей силы должны примерно соответствовать реальным условиям нагружения станка в процессе резания при типичном случае его использования. Относительная деформация между режущим инструментом и заготовкой измеряется по нормали к обрабатываемой поверхности в точке резания.

11.3. СИСТЕМЫ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ И РЕМОНТА СТАНКОВ С ЧПУ

Обеспечение высокой точности и надежности работы станков с ЧПУ в процессе их эксплуатации непосредственно связано с системой их технического обслуживания, своевременного и качественного выполнения профилактических работ и ремонта (рис. 11.4).

Техническое обслуживание станков с ЧПУ включает в себя совокупность организационных и технических мероприятий, обеспечивающих поддержание их выходных параметров на заданном уровне в течение всего периода эксплуатации: осмотр и контроль технического состояния станка и системы управления; чистку, промывку и смазывание механизмов станка; долив масла; регулирование отдельных механизмов станка и элементов системы управления; замену отдельных износившихся деталей и вышедших из строя элементов и блоков УЧПУ; проверку и наладку гидро- и электроприводов, а также работы по устранению обнаруженных неисправностей.

Техническое обслуживание должно проводиться в соответствии с имеющимися правилами, а также с учетом специальных требований, содержащихся в технической документации на станки с ЧПУ. В общих правилах сформулированы требования к их техническому обслуживанию с регламентацией последнего по содержанию, периодичности и распределению между исполнителями обязанностей, к периодичности и составу их проверок, а также к контролю службой главного механика соблюдения правил эксплуатации станков с ЧПУ операторами, наладчиками, ремонтниками и производственным административно-техническим персоналом.

Изменение точности станка с ЧПУ в процессе эксплуатации происходит вследствие действия на него различных внутренних и внешних факторов. *Внутренними* факторами являются силы резания и их моменты, силы трения, вибрации, тепловыделение и нагрев его элементов; *внешними* факторами — температура окружающей среды, вибрация соседнего оборудования, колебание напряжения в электросети, влажность и загрязнение окружающего воздуха, вмешательство оператора и др.

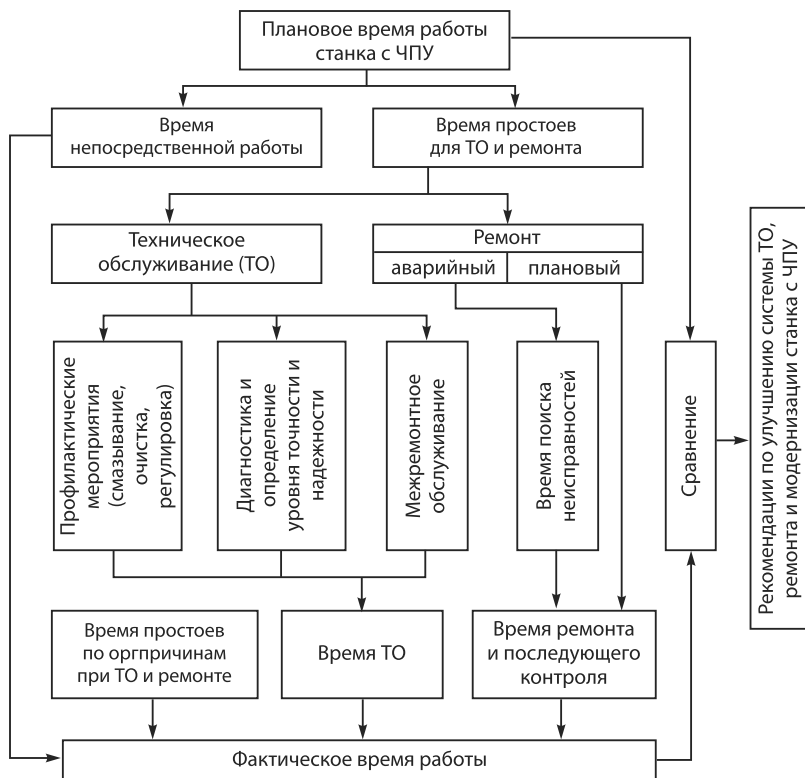


Рис. 11.4. Схема состава планового времени работы станка с ЧПУ

Действие внутренних и внешних факторов вызывает упругие деформации элементов станка, их изнашивание, вибрацию, температурные деформации, что ухудшает, в первую очередь, его точность, а также влияет на производительность и себестоимость изготовления деталей.

Изменение точности станка с ЧПУ в процессе эксплуатации в результате действия на него указанных факторов обуславливается появлением допустимых и недопустимых повреждений как в самом станке, так и в устройстве ЧПУ, которые приводят сразу к остановке станка (вследствие повреждения самого станка или УЧПУ) или к недопустимым условиям его работы, являются причинами отказов его функционирования.

Повреждения, которые не ограничивают возможности функционирования станка с ЧПУ, но приводят при его дальнейшей эксплуатации к снижению точности обработки, являются причинами его параметрических отказов (отказов по точности обработки).

Если для станка более характерным является параметрический отказ, то для УЧПУ — отказ функционирования. Последний может проявляться в УЧПУ в виде неиндицируемых сбоев, которые не обнаруживаются в момент их возникновения; индицируемых сбоев, которые фиксируются УЧПУ в момент их возникновения с прекращением дальнейшей отработки УП; устойчивых отказов, которые приводят сразу к остановке станка с ЧПУ. Таким образом, если индицируемые сбои и устойчивые отказы УЧПУ приводят к отказам функционирования станка с ЧПУ, то его неиндицируемые сбои приводят к параметрическим отказам.

В соответствии с ГОСТ 18322–78 по способу организации предусматривается два вида ремонта станков с ЧПУ: плановый и неплановый.

Плановый ремонт — это ремонт, постановка на который станка с ЧПУ осуществляется в соответствии с требованиями нормативно-технической документации через установленный период времени работы станка или при достижении установленного нормами его технического состояния.

Неплановый ремонт — это ремонт станка с ЧПУ, осуществляемый без предварительной регламентации — по потребности.

По составу работ предусматриваются текущий и капитальный ремонты.

Текущий ремонт (ТР) — это ремонт, выполняемый для обеспечения или восстановления работоспособности станка с ЧПУ и состоящий в замене и (или) восстановлении работоспособности отдельных деталей и узлов.

Капитальный ремонт (КР) — это ремонт, выполняемый для восстановления неисправности и полного или близкого к полному восстановления ресурса станка с ЧПУ с заменой или восстановлением любых его деталей и узлов, включая базовые.

Применяется еще понятие *аварийный ремонт*, под которым понимается неплановый ремонт, вызванный дефектами конструкции или изготовления станка с ЧПУ, дефектами ремонта и нарушением правил технической эксплуатации.

Все работы по плановому ремонту выполняются в определенной последовательности, образуя повторяющиеся ремонтные циклы.

Ремонтный цикл — это повторяющаяся совокупность различных видов плановых ремонтов, выполняемых в определенной последовательности через установленные равные количества часов оперативного времени работы станка с ЧПУ, называемые межремонтными периодами.

Ремонтный цикл завершается капитальным ремонтом и определяется структурой и продолжительностью цикла. *Структура ремонт-*

ного цикла — это перечень ремонтов, входящих в его состав, расположенных в последовательности их выполнения. Например, структура ремонтного цикла, состоящего из пяти текущих ремонтов и одного капитального, записывается в виде

КР — ТР — ТР — ТР — ТР — ТР — КР.

Продолжительность ремонтного цикла — это число часов оперативного времени работы станка с ЧПУ, на протяжении которого проводятся все ремонты, входящие в состав цикла. Простой станка с ЧПУ, связанные с выполнением плановых и неплановых ремонтов и технического обслуживания, в продолжительность ремонтного цикла не входят.

Структура ремонтного цикла станков с ЧПУ устанавливается в зависимости от класса точности и массы.

Однако, учитывая большую сложность и высокую стоимость станков с ЧПУ, их компоновочно-конструктивное разнообразие, отсутствие необходимого статистического материала о характере и изменении их выходных параметров при широком диапазоне условий и режима их эксплуатации, назначение структуры их ремонта данными способами (особенно с учетом массы станка) не всегда эффективно. Поэтому для станков с ЧПУ следует считать наиболее целесообразным методом разработки структуры и длительности межремонтного периода метод, основанный на определении указанных величин по фактическому состоянию станка в процессе эксплуатации в конкретных условиях производства. При этом составляется как бы «история болезни» на каждый конкретный станок с фиксацией различных нарушений его работоспособности (с помощью ЭВМ) и на основе этого принимается решение о времени и структуре ремонта.

Сами устройства ЧПУ относят к обслуживаемым и восстанавливаемым изделиям с циклическим режимом работы и проведением регламентационных работ. Надежность УЧПУ определяют показателями безотказности, ремонтпригодности и долговечности и устанавливают в технических документах на УЧПУ конкретного типа. Количественные показатели и нормы надежности устанавливаются в соответствии с ГОСТ 21021–2000.

Критерии отказов и способы их устранения устанавливаются в технических документах на УЧПУ конкретного типа.

УЧПУ должны также сохранять работоспособность при помехах от электрооборудования станка и сети питания.

На рис. 11.5 в качестве примера показан возможный вариант организации АСУ главного механика на предприятии, эксплуатирующем станки с ЧПУ.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Аверьянов О.И.* Модульный принцип построения станков с ЧПУ. М.: Машиностроение, 1987. 232 с.
2. Автоматические станочные системы / В.Э. Пуш, Р. Пигерт, В.Л. Сонкин; Под ред. В.Э. Пуша. М.: Машиностроение, 1982. 319 с.
3. *Бушуев В.В.* Гидростатическая смазка в станках. М.: Машиностроение, 1989. 176 с.
4. *Власов С.Н., Годович Г.М., Черпаков Б.И.* Устройство, наладка и обслуживание металлообрабатывающих станков и автоматических линий: Учебник для техникумов. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Машиностроение, 1995. 404 с.
5. *Гжиров Р.И., Серебrenицкий П.П.* Программирование обработки на станках с ЧПУ: Справочник. Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1990. 588 с.
6. *Дерябин А.Л., Эстерзон М.А.* Технология изготовления деталей на станках с ЧПУ и в ГПС. М.: Машиностроение, 1989.
7. Инструкции по программированию для УЧПУ «CNC-Micros» «BOSCH».
8. Инструкции по программированию для УЧПУ «TNC 530».
9. Инструкции по программированию для УЧПУ «Электроника НЦ-31». Ленинградское ОКБ АРС.
10. Инструкции по обслуживанию УЧПУ «MANUAL plus4110» HEIDENHAIN.
11. Инструмент для станков с ЧПУ, многоцелевых станков и ГПС / И.Л. Фадюшин, Я.А. Музыкант, А.И. Мещеряков и др. М.: Машиностроение, 1990 272 с.
12. *Камышный Н.И., Стародубов В.С.* Конструкции и наладка токарных автоматов и полуавтоматов: Учебник для СПТУ. 4-е изд., перераб. и доп. М.: Высш. школа. 1988. 256 с.
13. *Колка И.А., Кувшинский В.В.* Многооперационные станки. М.: Машиностроение, 1983. 136 с.
14. Конструкционные материалы: Справочник / Б.Н. Арзамасов, В.А. Брострем, Н.А. Буше и др.; Под общ. ред. Б.Н. Арзамасова. М.: Машиностроение, 1990. 688 с.
15. *Корнеев В.Д.* Автоматическое управление обработкой деталей фрезерованием. Вестник машиностроения. 1973. № 4. С. 52–56.
16. *Косовский В.Л., Козырев Ю.Г., Новиков А.Н., Ратмиров В.А.* и др. Программное управление станками и промышленными роботами. М.: Высшая школа, 1986. 272 с.
17. Краткий справочник металлиста / Под общ. ред. А.Е. Древаля, ЕА. Скороходова. 4-е изд., перераб. и доп. М.: Машиностроение, 2005. 960 с.
18. *Кузнецов М.М., Усов Б.А., Стародубов В.С.* Проектирование автоматизированного производственного оборудования: Учеб. пособие для вузов. М.: Машиностроение, 1987. 288 с.

19. *Кузнецов Ю.И., Маслов А.Р., Байков А.Н.* Оснастка для станков с ЧПУ: Справочник. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Машиностроение, 1990. 512 с.
20. *Лебедев А.М., Орлова Р.Т., Пальцев А.В.* Следящие электроприводы станков с ЧПУ. М.: Энергоатомиздат, 1988. 224 с.
21. *Марголит Р.Б.* Наладка станков с программным управлением. М.: Машиностроение, 1983. 253 с.
22. *Маслов А.Р.* Приспособления для металлообрабатывающего инструмента: Справочник. М.: Машиностроение, 1996. 240 с.
23. Машиностроение: Энциклопедия. Т. IV–7: Металлорежущие станки и деревообрабатывающее оборудование/ Б.И. Черпаков, О.И. Аверьянов, Г.А. Адоян и др.; Под ред. Б.И. Черпакова. М.: Машиностроение, 1999. 863 с.
24. *Модзольский Д.А., Соловьев Д.В., Лонг В.А.* Многооперационные станки: Основы проектирования и эксплуатация. М.: Машиностроение, 1981. 216 с.
25. *Никитенко В.Д.* Подготовка программ для станков с программным управлением. М.: Машиностроение, 1973. 240 с.
26. *Палей С.М.* Диагностика режущего инструмента на станках с ЧПУ: Учеб. пособие. Международная книга, 1998. 72 с.
27. Проектирование автоматизированных станков и комплексов: Учебник: В 2 т. Т. 2 / Под ред. П.М. Чернянского. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2012. 303 с.
28. Проектирование металлорежущих станков и станочных систем: Учебник: В 3 т. Т. 2. Расчет и конструирование узлов и элементов станков / А.С. Проников, Е.И. Борисов, В.В. Бушуев и др.; Под общ. ред. А.С. Проникова. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана: Машиностроение, 1995.
29. Программное управление станками и промышленными роботами: Учебник для ПТУ / В.Л. Косовский, Ю.Г. Козырев, А.Н. Ковшов и др. 2-е изд., стер. М.: Высш. шк., 1989. 272 с.
30. *Проников А.С.* Надежность машин. М.: Машиностроение, 1978. 592 с.
31. *Ратмиров В.А.* Управление станками гибких производственных систем. М.: Машиностроение, 1987. 272 с.
32. Руководство по программированию для СЧПУ мод. NTC90M.
33. Руководство по программированию для УЧПУ «FAGOR 8055TC CNC».
34. Руководство по программированию для УЧПУ «FANUC 6M» «FANUC».
35. Руководство программиста MC для УЧПУ NC-110, NC-200, NC-210 Balt-System.
36. Руководство программиста TC для УЧПУ NC-110, NC-200, NC-210 Balt-System.
37. Научно-исследовательский институт технологии и организации производства (НИАТ). Руководящие технические материалы РТМ-1311 «Подготовка программ для обработки деталей на фрезерных станках с ЧПУ».

38. Справочник технолога-машиностроителя. В 2 т. Т. 1 / Под ред. А.М. Дальского, А.Г. Косиловой, Р.К. Мещерякова, А.Г. Сулова. 5-е изд., перераб. и доп. М.: Машиностроение, 2003. 912 с.
39. Станочное оборудование автоматизированного производства. Т. 1 / Под ред. В.В. Бушуева. М.: Изд-во «Станкин», 1993. 584 с.
40. Станочное оборудование автоматизированного производства. Т. 2 / Под ред. В.В. Бушуева. М.: Изд-во «Станкин», 1994. 656 с.
41. *Стародубов В.С., Харитонов В.А.* Методика и система автоматизированной оценки точности позиционирования рабочих органов во всей рабочей зоне металлорежущих станков с ЧПУ // Вестник машиностроения. 1994. № 1. С. 23–26.
42. *Стародубов В.С.* Температурные деформации и характер их влияния на точность металлорежущих станков с ЧПУ: Справочник // Инженерный журнал. 2007. № 4. С. 29–40.
43. *Стародубов В.С.* Точность металлорежущих станков с ЧПУ и способы ее повышения // Вестник машиностроения. 2000. № 5. С. 36–40.
44. Техническое обслуживание и ремонт оборудования ГПС. М.: ЭНИМС, 1990. 95 с.
45. Технология конструкционных материалов: Учебник для студентов машиностроительных специальностей вузов / А.М. Дальский, Т.М. Барсукова, Л.Н. Бухаркин и др.: Под общ. ред. А.М. Дальского. 3-е изд., перераб. и доп. М.: Машиностроение, 1993. 448 с.
46. Типовая система технического обслуживания и ремонта металло- и деревообрабатывающего оборудования. М.: Машиностроение, 1988. 667 с.
47. Точность и надежность станков с числовым программным управлением / А.С. Проников, В.С. Стародубов, М.С. Уколов и др.; Под ред. А.С. Проникова. М.: Машиностроение, 1982. 256 с.
48. *Шарин Ю.С.* Подготовка программ для станков с ЧПУ. М.: Машиностроение, 1980. 144 с.
49. *Юревич В.В.* Контроль и диагностика в автоматизированном производстве // Машиностроитель. 2003. № 1, 2, 3, 4.
50. Copyright 2005 000 SIEMENS: Учеб. пособие Sinu Train.
51. Weck, Manfred. Werkzeugmaschinen. Bd.3. Automatisierung und Steuerungstechnik. Düsseldorf: VDI – Verlag, 1982. 439.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Раздел 1

Общие сведения о металлорежущих станках с ЧПУ	3
1.1. Типовые детали, изготавливаемые на станках с числовым программным управлением (ЧПУ)	3
1.2. Основные виды обработки заготовок и принципы построения металлорежущих станков с ЧПУ	6

Раздел 2

Способы управления металлорежущими станками, их сравнительный анализ. Системы ЧПУ	17
2.1. Универсальные металлорежущие станки с ручным управлением, их структура построения, функции управления	17
2.2. Металлорежущие полуавтоматы и автоматы с ранее существующими системами программного управления. Их структура построения и выполняемые функции управления	19
2.3. Системы ЧПУ станками. Общие положения	24
2.4. Классификация систем ЧПУ	28
2.5. Системы координат станков с ЧПУ, кодирование и запись информации УП	35
2.6. Задачи, решаемые системой ЧПУ, архитектура их построения	40
2.7. Программное обеспечение систем ЧПУ	42

Раздел 3

Особенности компоновки и конструкции станков с ЧПУ	44
3.1. Компоновка станков с ЧПУ, ее особенности, характеристики	44
3.2. Привод главного движения, узел шпинделя	55
3.3. Привод подачи, его структура, элементы конструкции, характеристика	61
3.4. Направляющие, их виды, конструктивные особенности	71
3.5. Системы автоматической смены режущих инструментов	81
3.5.1. Требования к режущим и вспомогательным инструментам при их автоматической смене, их характеристики	84
3.5.2. Магазины для накопления и транспортировки инструментов	87
3.5.3. Механизмы автоматической смены инструментов	94
3.6. Устройства автоматической смены обрабатываемых заготовок	95
3.7. Устройства для сбора и транспортировки стружки	99
3.8. Системы смазывания деталей и узлов станков с ЧПУ	100
3.9. Смазочно-охлаждающие технологические среды	105

Раздел 4

Расширение технологических возможностей станков с ЧПУ, повышение их производительности, точности

и надежности работы	108
4.1. Новые технологические возможности станков с ЧПУ, их характеристика	108
4.2. Производительность станков с ЧПУ и пути ее повышения	112
4.3. Гибкие производственные модули и станочные системы	117
4.4. Повышение точности станков с ЧПУ путем коррекции их погрешностей	121
4.5. Системы технического диагностирования	129
4.6. Адаптивные системы управления	134
4.7. Устройства для автоматического контроля точности изготовления деталей и для настройки режущих инструментов	139
4.8. Приспособления, применяемые на станках с ЧПУ	140
4.8.1. Приспособления для токарных станков с ЧПУ	143
4.8.2. Приспособления для установки и закрепления заготовок на столе станков с ЧПУ	145

Раздел 5

Этапы подготовки управляющих программ для станков с ЧПУ ...

5.1. Процесс преобразования информации в системе «чертеж — готовая деталь». Основные этапы и задачи, решаемые при подготовке УП	149
5.2. Методы подготовки УП для станков с ЧПУ	153

Раздел 6

Подготовка исходных данных для проектирования технологического процесса обработки деталей

на станках с ЧПУ	162
6.1. Подбор номенклатуры изготавливаемых деталей	162
6.2. Выбор станка с ЧПУ для обработки детали	163
6.2.1. Зоны обработки детали	163
6.2.2. Формирование поверхностей в зонах обработки на станках с ЧПУ	166
6.2.3. Нулевые, исходные и фиксированные точки станка с ЧПУ	172
6.3. Анализ чертежей деталей на технологичность при изготовлении на станках с ЧПУ	176
6.3.1. Требования обеспечения базирования	177
6.3.2. Требования к унификации радиусов сопряжения элементов деталей	177
6.3.3. Требование к конструкции сопрягаемых элементов детали	179
6.4. Согласование условий поставки заготовки	181

Раздел 7

Технологическая подготовка при создании УП

для станка с ЧПУ	183
7.1. Разработка маршрутной технологии при создании УП	183
7.1.1. Выбор последовательности обработки детали по зонам	183
7.1.2. Выбор режущих инструментов и расчет их параметров	185
7.1.3. Назначение параметров инструмента для УП. Система координат инструмента	198
7.1.4. Выбор приспособления	200
7.1.5. Система координат детали. Назначение нулевой точки детали	201
7.1.6. Задание исходной точки программы (P_s)	203
7.1.7. Определение положения нулевой точки детали W , исходной точки инструмента E , исходной точки программы P_s в системе координат станка	204
7.2. Разработка операционной технологии при создании УП	209
7.2.1. Основные понятия	209
7.2.2. Правила формирования траекторий во вспомогательных переходах	214
7.2.3. Правила формирования траекторий рабочих перемещений в инструментальных переходах	216
7.2.4. Разработка расчетно-технологической карты. РТК изготовления детали на станке с ЧПУ	221

Раздел 8

Математическая подготовка УП.

Расчет и кодирование информации	226
8.1. Основные понятия расчета управляющих программ	226
8.1.1. Интерполяция	226
8.2. Кодирование управляющих программ	231
8.2.1. Структура построения УП обработки деталей	231
8.2.2. Типы кадров	237
8.2.3. Ввод управляющих программ	238
8.2.4. Функции управляющей программы	238

Раздел 9

Описание функций программирования

248	
9.1. Тип программирования	248
9.1.1. Программирование в абсолютной системе, по приращениям, относительно нуля станка (G_{90} , G_{91} , G_{79})	248
9.2. Тип движения	252
9.2.1. Быстрое позиционирование осей (G_{00})	252
9.2.2. Линейная интерполяция (G_{01})	253

9.2.3. Круговая интерполяция (G02, G03)	256
9.2.4. Винтовая интерполяция.....	261
9.2.5. Нарезание резьбы с линейным шагом (G33)	262
9.3. Координатные данные и единицы измерения.....	264
9.3.1. Преобразование дюйм/метр (G20, G21)	264
9.4. Системы координат	265
9.4.1. Определение СЧПУ нулевой точки станка <i>M</i> и ее изменение (G53)	265
9.4.2. Определение СЧПУ исходной точки станка <i>R</i> и ее функция (G28).....	266
9.4.3. Задание СЧПУ системы координат детали (G54–G59)	266
9.5. Подача	269
9.5.1. Скорость подачи, подача в минуту (G94), подача на оборот (G95)	269
9.5.2. Пауза (G04).....	270
9.6. Постоянные циклы обработки.....	271
9.6.1. Расточные постоянные циклы (G80–G89)	272
9.6.2. Постоянные циклы точения	275
9.6.3. Циклы фрезерования	281
9.7. Функции шпинделя	282
9.7.1. Скорость вращения шпинделя (адрес S).....	282
9.7.2. Ориентированный останов шпинделя (M19).....	284
9.8. Инструмент.....	285
9.8.1. Данные об инструменте	285
9.8.2. Управление выбором инструмента	288
9.9. Вспомогательные функции.....	291
9.10. Коррекция инструмента	292
9.10.1. Задание величины коррекции в корректор УЧПУ.....	295
9.10.2. Коррекция вылета инструмента <i>H</i> (G43, G44, G49)	296
9.10.3. Коррекция диаметра инструмента (<i>D</i> -функция).....	298

Раздел 10

Контроль УП и настройка станка с ЧПУ

на изготовление детали	302
10.1. Контроль УП для станков с ЧПУ	302
10.2. Настройка станка с ЧПУ на изготовление детали.....	303
10.2.1. Сборка инструментальных оправок и режущих инструментов.....	303
10.2.2. Измерение параметров инструментов.....	305
10.2.3. Установки и точная ориентация приспособления на столе станка (выравнивание).....	310
10.2.4. Определение на фрезерном станке с ЧПУ положений нулевой точки детали <i>W</i> , исходной точки инструмента <i>E</i> и исходной точки программы <i>Ps</i>	313

Раздел 11

Эксплуатация станков с ЧПУ, особенности их технического обслуживания и ремонта	317
11.1. Основные требования к условиям эксплуатации станков с ЧПУ	318
11.2. Испытания станков с ЧПУ	319
11.3. Системы технического обслуживания и ремонта станков с ЧПУ	324
Список использованной литературы	329