

Федеральное агентство по образованию

Государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
"Кузбасский государственный технический университет"

А. Н. ТРУСОВ

ПРОЕКТИРОВАНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Учебное пособие

Допущено Учебно-методическим объединением вузов по образованию в области автоматизированного машиностроения (УМО АМ) в качестве учебного пособия для студентов высших учебных заведений, обучающихся по специальности «Технология машиностроения» направления «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств»

Кемерово 2008

УДК 551.01.33.87

Рецензенты:

Кафедра прикладной механики Кемеровского государственного сельскохозяйственного института

Проректор по учебной работе Кемеровского института (филиала) РГТЭУ, канд. техн. наук С. А. Муравьев

Доцент кафедры технологии машиностроения ГУ КузГТУ, канд. техн. наук А. А. Клепцов

Трусов А. Н. Проектирование автоматизированных технологических процессов : учеб. пособие / А. Н. Трусов ; ГУ КузГТУ. – Кемерово, 2008. – 231 с. ISBN 978-5-89070-619-5

Учебное пособие соответствует учебному плану подготовки специалистов по специальности 220301 "Автоматизация технологических процессов и производств (в машиностроении)".

Рассмотрены вопросы проектирования технологических процессов механической обработки деталей на станках с ЧПУ, типовой технологии изготовления основных классов деталей, проектирования технологических процессов сборки, в том числе автоматизированных технологических процессов.

Печатается по решению редакционно-издательского совета ГУ КузГТУ.

ISBN 978-5-89070-619-5

УДК 551.01.33.87
© ГУ КузГТУ, 2008
© Трусов А. Н., 2008

Предисловие

Развитие промышленного производства определяется ростом производительности труда, который, в свою очередь, связан с развитием механизации и автоматизации. Это связано, с одной стороны, с улучшением при автоматизации организации производства, ускорением оборачиваемости оборотных средств и лучшим использованием основных фондов, с другой – со снижением себестоимости обработки, расходов на заработную плату, энергию, с третьей – с возрастанием культуры производства, качества выпускаемой продукции и т.д.

В современном машиностроительном производстве осуществляется множество различных технологических процессов. Однако сложившееся понятие "технология машиностроения" обозначает преимущественно процессы механической обработки заготовок для изготовления деталей и сборки машин. Это объясняется тем, что в машиностроении заданные формы детали с требуемой точностью их параметров и необходимым качеством поверхностного слоя достигаются в основном путем механической обработки, а качество машин – рациональностью и качеством выполнения сборки.

В процессе механической обработки возникает наибольшее число проблем обеспечения качества машин. Процесс механической обработки реализуется достаточно сложной технологической системой, включающей в себя металлорежущий станок, станочную технологическую оснастку, режущий инструмент и заготовку.

В данном учебном пособии обобщен опыт проектирования автоматизированных технологических процессов, связанный с гибкой автоматизацией машиностроительного производства, в первую очередь с обработкой деталей на станках с ЧПУ.

Типовые технологические процессы изготовления валов, втулок, зубчатых колес, рычагов и корпусных деталей изложены по единому плану в соответствии со стандартами разработки и постановки изделий на производство. За основу приняты типо-

вые технологические процессы, прошедшие апробацию в промышленности.

1. МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ ТП

1.1. Цели и проблемы автоматизации. Показатели автоматизации

1.1.1. Цели автоматизации

Цели автоматизации:

- снижение производственных затрат (текущих и эксплуатационных);
- ликвидация вредных и опасных для человека рабочих мест;
- снижение доли ручного труда;
- повышение эффективности ТП и качества изделий;
- создание предпосылок к оптимальной организации производственного процесса (ГАП);
- повышение производительности труда;
- переход к АСУП;
- повышение гибкости производственного процесса.

1.1.2. Проблемы при автоматизации

Проблемы при автоматизации:

- нехватка кадров всех специальностей, но в первую очередь технологов, способных проектировать не просто технологические процессы, а автоматизированные ТП, которые имеют свои особенности разработки;
- большие капитальные затраты на комплексную автоматизацию производства;
- снижение зарплаты рабочих всех категорий (автоматчиков);
- низкий уровень надежности элементной базы (устройств автоматизации);

• недостаточная методическая обеспеченность всех этапов автоматизации производства.

1.1.3. Показатели механизации и автоматизации

В соответствии с ГОСТ 14.309-74 "Правила применения средств механизации и автоматизации ПП":

а) механизация направлена на частичную или полную замену ручного труда машинным в той части технологического процесса (ТП), где непосредственно происходит изменение состояния, формы или качества изделий с сохранением участия человека в управлении машинами;

б) автоматизация направлена на передачу функций управления, выполнявшихся человеком, машинам и приборам;

в) механизация и автоматизация могут быть полными и неполными (менее 100 % охвата);

г) уровень механизации и автоматизации любого ТП может быть оценен качественно и количественно (рис. 1).

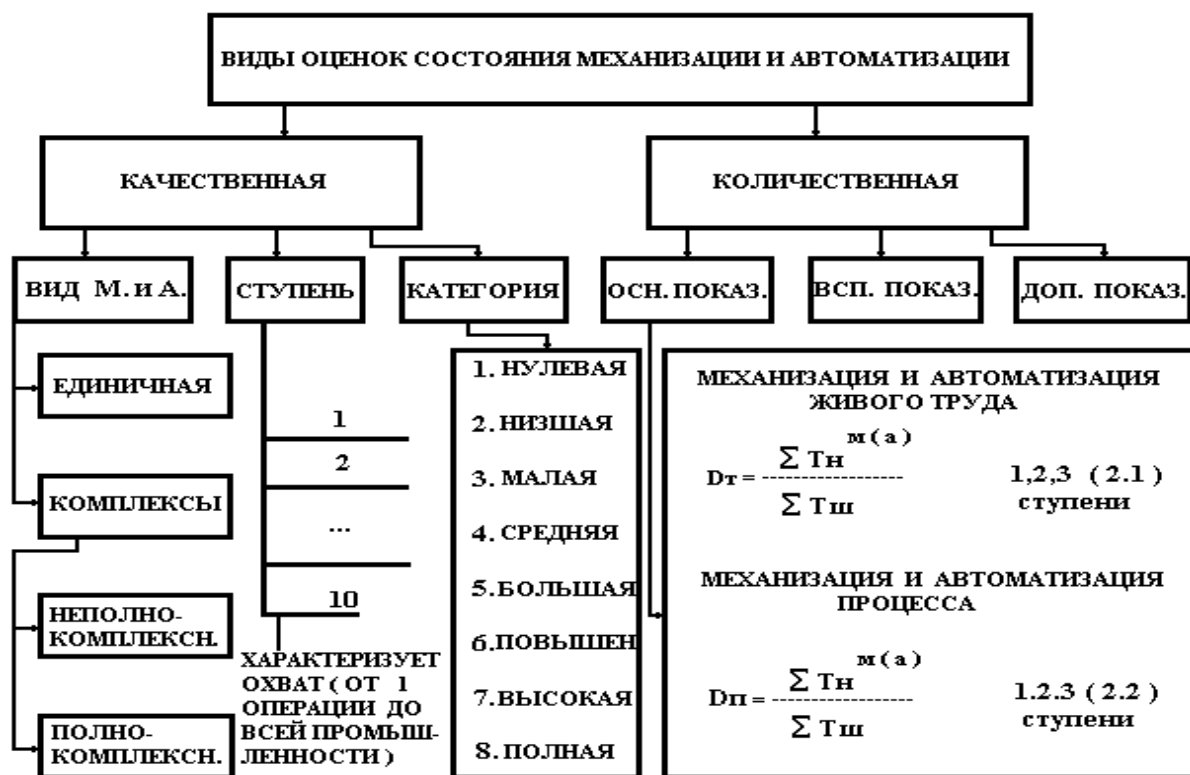


Рис. 1. Качественная и количественная оценка уровня механизации (автоматизации)

Виды механизации (автоматизации):

Еди́ничная механизация (автоматизация) – механизация (автоматизация) одной первичной составляющей объекта (например, одна операция в ТП).

Комплексная механизация (автоматизация) – механизация (автоматизация) более одной (неполнокомплексная) или всех (полнокомплексная) первичных составляющих объекта механизации (автоматизации).

Ступени механизации (автоматизации):

- 1 – единичная технологическая операция (ТО);
- 2 – технологический процесс;
- 3 – система ТП на участке;
- 4 – система ТП в цехе;
- 5 – система ТП в пределах группы однородных цехов;
- 6 – система ТП в пределах предприятия;

.....

10 – система ТП в промышленности страны.

Категория механизации (автоматизации): в зависимости от показателя уровня механизации (автоматизации):

- 1) нулевая – отсутствует механизация (автоматизация);
- 2) низшая при $D_T = 0,01 \dots 0,25$;
- 3) малая $D_T = 0,25 \dots 0,45$;
- 4) средняя $D_T = 0,45 \dots 0,60$;
- 5) большая $D_T = 0,60 \dots 0,75$;
- 6) повышенная $D_T = 0,75 \dots 0,90$;
- 7) высокая $D_T = 0,90 \dots 0,99$;
- 8) полная $D_T = 1,00$.

Примеры обозначений:

3М2 – единичная механизация (М) на уровне участка (3) низшей категории (2);

4КА6 – комплексная автоматизация (КА) на уровне цеха (4) повышенной категории (6).

Основные показатели оценивают степень замены человеческого труда машинным. Устанавливают 2 уровня (эти показатели применимы для 1, 2, 3-й ступеней):

- 1) механизация или автоматизация живого труда (D_T);
- 2) механизация или автоматизация процесса (D_{II}).

$$D_T = \frac{\sum T_H^{M(a)}}{\sum T_{III}}, \quad (1)$$

$$D_{II} = \frac{\sum T^{M(a)}}{\sum T_{III}}, \quad (2)$$

где $\sum T_H^{M(a)}$ – сумма машинного (автоматического) времени, не перекрываемого ручным временем (мин, ч); $\sum T^{M(a)}$ – сумма всего машинного (автоматического) времени; $\sum T_{III}$ – сумма всех штучных времен (мин, ч).

Вспомогательные показатели оценивают состояние механизации и автоматизации структурных компонентов ТП:

- труда рабочих;
- технологических операций;
- средств технологического оснащения и управления.

Дополнительные показатели учитывают специфику ТП и особенности решаемых задач.

1.2. Характеристика основных направлений АПП для различных типов машиностроительных производств

1.2.1. Автоматизация крупносерийного и массового типов производств

1. Разработка высокомеханизированных и комплексно-автоматизированных производственных процессов:

- автоматизация основных ТП;

- автоматизация вспомогательных ТП (транспортировка, складирование, инструментообеспечение, контроль...);
- автоматизация управления производством;
- автоматизация технологической подготовки производства (ТПП).

2. Автоматизация на базе агрегатных станков (крупносерийное производство):

- создание агрегатных станков для выполнения отдельных операций (многопозиционная и многоинструментальная обработка одновременно с нескольких сторон) из унифицированных механизмов, узлов, агрегатов;

- создание автоматических линий (АЛ) из агрегатных станков, выпускаемых серийно, это снижает затраты на автоматизацию и время на проектирование, изготовление и отладку АЛ.

3. Автоматизация на базе специального оборудования (массовое производство). Существенно повышается производительность за счет новых ТП и машин.

1.2.2. Автоматизация единичного производства

1. Применение станков с оперативной системой управления (СУ). Программирование непосредственно на станке с вводом УП с клавиатуры пульта станка. Возможность редактирования УП. В памяти хранятся стандартные циклы (нарезание резьбы, сверление, обработка сферы и т.д.), программирование которых требует только указания необходимых размеров. Например, токарные станки 16К20Т1 и 16Б16Т1 с ОСУ "Электроника НЦ-31".

2. Применение адаптивных СУ (по силе и мощности резания), изменяющих частоту вращения шпинделя и подачу, что особенно эффективно при больших колебаниях припусков и механических свойств обрабатываемых материалов.

1.2.3. Автоматизация мелкосерийного и серийного типов производств

1. Автоматизация на базе станков с ЧПУ и ОЦ. **Обрабатывающий центр** – это станок с ЧПУ с микропроцессорным управлением, поставляется с загрузочными устройствами, сменными многошпиндельными головками, устройствами для контроля состояния режущего инструмента (РИ), сменными столами, магазинами РИ, системами компенсации погрешностей обработки и пр.

2. Создание групповых поточных линий (ГПЛ) для обработки групп заготовок, имеющих общий технологический маршрут, на базе станков с ЧПУ. Это устраняет главный недостаток серийного производства – дискретность.

3. Применение гибких производственных модулей (ГПМ) и роботизированных технологических комплексов (РТК).

ГПМ – единица технологического оборудования, оснащенная автоматизированным устройством ЧПУ и средствами автоматизации ТП, автономно функционирующая, осуществляющая многократные циклы. В общем случае средства автоматизации ГПМ включают в себя: накопители; спутники; устройства загрузки, замены оснастки, удаления отходов, автоматизации контроля, диагностирования, переналадки. Базой ГПМ является станок с ЧПУ или ОЦ.

РТК – совокупность единицы технологического оборудования, промышленных роботов (ПР) и средств оснащения, функционирующая автономно и осуществляющая многократные рабочие циклы.

4. Создание гибких производственных систем (ГПС).

ГПС – это несколько единиц технологического оборудования, снабженного средствами и системами, обеспечивающими функционирование оборудования в автоматическом режиме; при этом ГПС должна обладать свойством автоматизированной переналадки при переходе на производство новых изделий в пределах заданной номенклатуры.

По организационным признакам ГПС подразделяют на следующие виды: гибкая автоматизированная линия (ГАЛ); гибкий автоматизированный участок (ГАУ); гибкий автоматизированный цех (ГАЦ); гибкий автоматизированный завод (ГАЗ).

ГАЛ – это ГПС, состоящая из ГПМ, РТК и др., объединенных АСУ. Особенность: оборудование расположено по ходу ТП. Можно обрабатывать детали разных конструкций с одинаковой технологией. Гибкость реализуется применением станков с ЧПУ, сменой отдельных узлов и агрегатов.

ГАУ – в отличие от ГАЛ предусмотрена возможность изменения использования оборудования (в произвольном порядке).

Первая половина XX столетия характеризовалась углублением разделения на серийное и массовое производства, каждое из которых предъявляло свои требования к оборудованию.

Установилась своеобразная традиция использования оборудования:

- единичное производство – универсальные станки;
- серийное производство – универсальные станки со специальными приспособлениями;
- крупносерийное производство – агрегатные станки и линии из них;
- массовое производство – специальные станки, автоматы и АЛ.

Сейчас эти направления интенсивно сближаются по двум направлениям:

- использование групповой технологии, позволяющей искусственно увеличивать серийность производства;
- применение автоматического переналаживаемого оборудования. Решающий момент – появление обрабатывающих центров (ОЦ) как широкоуниверсальных и одновременно полностью автоматизированных станков.

1.3. Унификация объектов производства

Под объектами производства здесь понимаются изделия (сборочные единицы и детали), технологическое оснащение (оборудование, станочные приспособления, инструменты, средства механизации и автоматизации), технологические процессы и операции. Основой являются изделия. Задача заключается в подборе аналогов вновь проектируемому изделию, в полном или частич-

ном использовании найденных проектных решений, в новой разработке. В основе решения задачи унификации лежит систематизация отобранных объектов по наиболее важным признакам, исследование причинно-следственных связей между конструкцией (содержанием) объекта и выполняемыми ими функциями и выявление закономерностей построения ограниченных типоразмерных рядов.

Подобные изделия объединяются в семейства. Это приводит к подобию технологии изготовления таких изделий, т.е. к уменьшению длительности наладки оборудования, снижению уровня незавершенного производства, улучшению календарного планирования и использованию типовых (групповых) технологических маршрутов.

Объединение изделий в семейства приносит преимущества и в области конструкторского проектирования, так как позволяет получать новые детали путем внесения изменений в уже существующие.

Для создания семейств и подбора аналогов надо опираться на некоторый способ классификации и кодирования. Имеется два типа подобию между деталями: подобие *по конструктивным* (геометрическая форма и размеры) характеристикам и подобие *по технологическим* (оборудование, последовательность операций) характеристикам. Связь между конструктивными и технологическими характеристиками далеко не всегда однозначна. В нашей стране это положение проявилось в применении *типовой* и *групповой* технологии.

1.3.1. Типизация технологических процессов

Идею типизации впервые предложил и разработал проф. А. П. Соколовский. В основе лежит классификация деталей по их форме (конфигурации), размерам, точности и качеству поверхностей. Классификация построена по схеме **класс – подкласс – группа – тип**.

Основой является **класс** – совокупность деталей определенной конфигурации, характеризуемых общностью технологиче-

ских задач. **Типом** называется совокупность по конструктивным признакам сходных деталей, имеющих в данных производственных условиях общий технологический процесс. Отсюда цель классификации – установление типа детали. Для каждого типа детали разрабатывается типовой ТП. Внутри одного типа допускается расхождение в обработке за счет добавления или исключения нехарактерных операций. Недостаток такой классификации – большое число типов и, соответственно, типовых ТП. Опыт показал, что наиболее рационально применять типовые ТП в массовом и крупносерийном производствах.

1.3.2. Метод групповой обработки

Этот метод был разработан проф. С. П. Митрофановым в начале 50-х гг. и нашел широкое применение в отечественной промышленности.

В групповом методе основным признаком классификации и группирования являются применяемые средства технологического оснащения. Групповой метод – это такой метод унификации технологии производства, при котором для групп однородной по тем или иным конструкторско-технологическим признакам продукции устанавливаются однотипные методы обработки с использованием однородных и быстропереналаживаемых орудий производства. Наибольший эффект дает в области мелкосерийного и серийного типов производства.

Принципиальными основами группового метода являются: классификация и группирование деталей, видов работ, ТП и средств технологического оснащения; классификация и конструирование групповых приспособлений и другой оснастки; целевая модернизация и специализация оборудования; внедрение групповых поточных и автоматических линий; создание групповых участков и цехов.

1.3.2.1. Группирование деталей

Группа – совокупность деталей, характеризуемая при обработке общностью оборудования, оснастки, наладки всего ТП или отдельных ТО. Необходимо учитывать три группы признаков:

конструкторские, технологические, организационно-плановые. Существуют и широко применяются различные виды группирования. Рассмотрим некоторые подробнее.

По комплексной детали. Под *комплексной деталью* понимается реальная или условная деталь, содержащая в своей конструкции все основные элементы, характерные для деталей данной группы, и являющаяся ее конструкторско-технологическим представителем. Комплексная деталь служит основой для разработки группового ТП и групповой оснастки. Пример построения комплексной детали А из деталей группы Б, В, ..., М приведен на рис. 2.

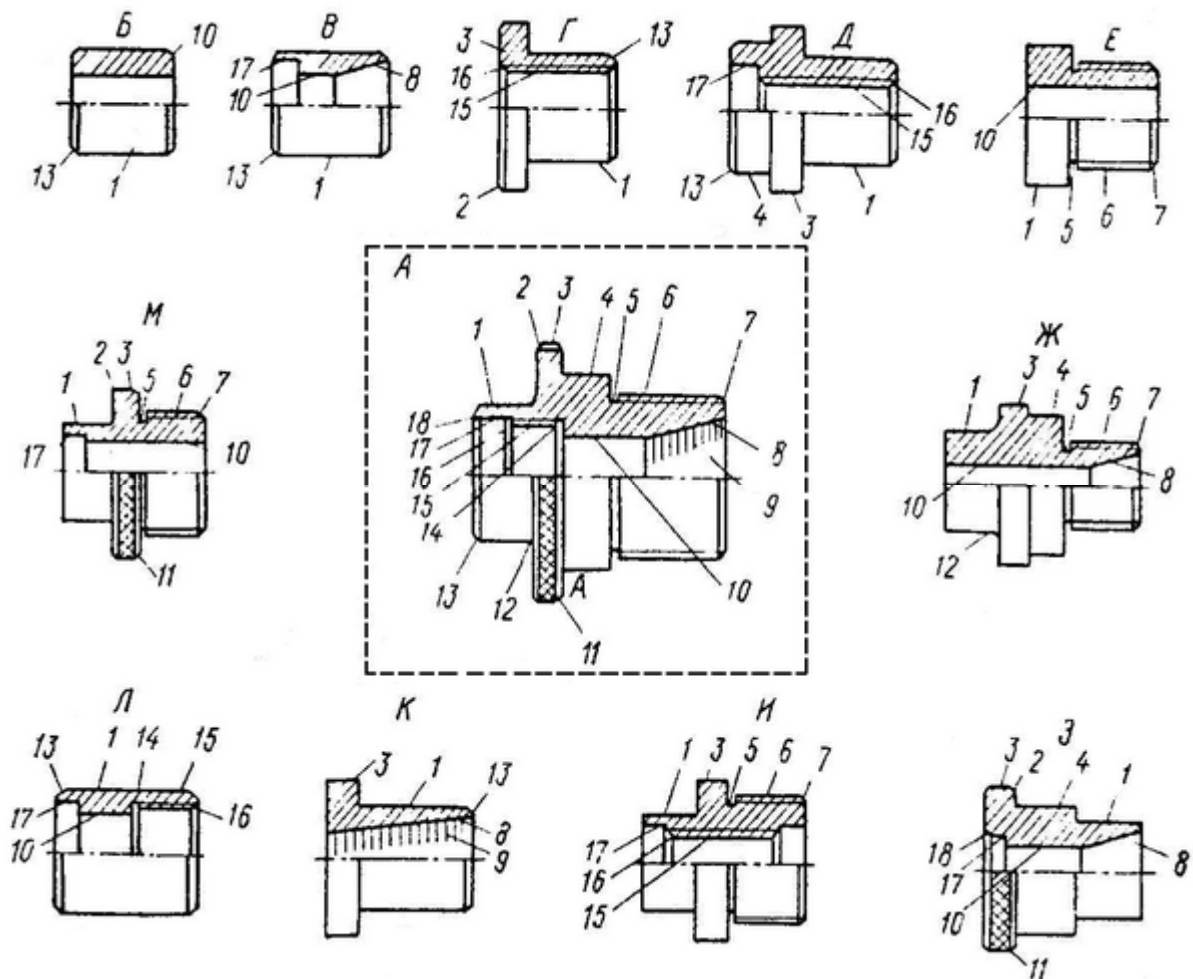


Рис. 2. Детали группы и комплексная деталь

Это наиболее простой способ проектирования групповых ТП.

По видам обработки. Можно выделить три случая:

- групповой обработкой охвачена одна операция (рис. 3). Метод охватывает наибольшее количество деталей и особенно эффективен для однооперационных ТП. Позволяет специализировать данное рабочее место;
- детали группы имеют общий групповой многооперационный ТП, выполняемый на разнотипном оборудовании. Детали проходят либо через все деталиоперации, либо через отдельные, необходимые для их обработки (рис. 4);
- на одной или нескольких операциях объединяются детали нескольких групп, каждая из которых охватывает весь технологический процесс обработки на разнотипном оборудовании (рис. 5).

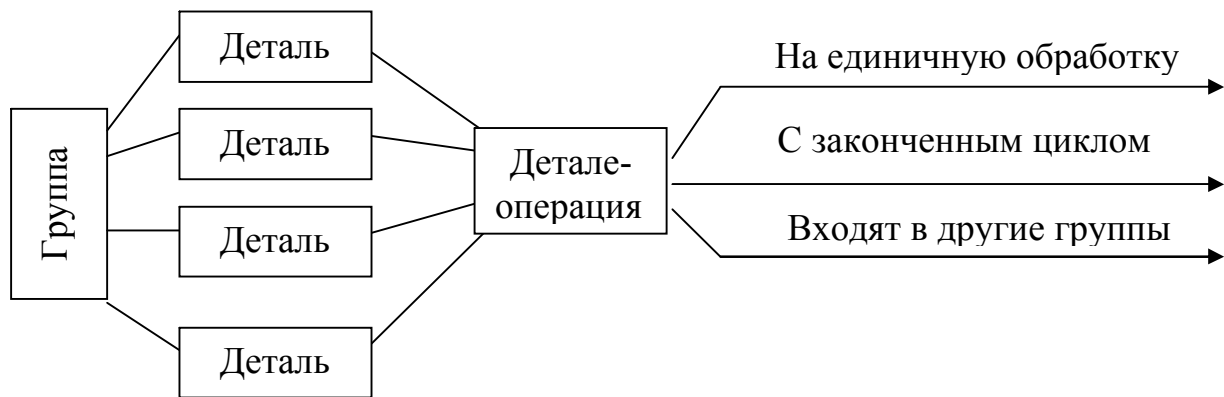


Рис. 3. Группа деталей с циклом обработки на одном типе оборудования

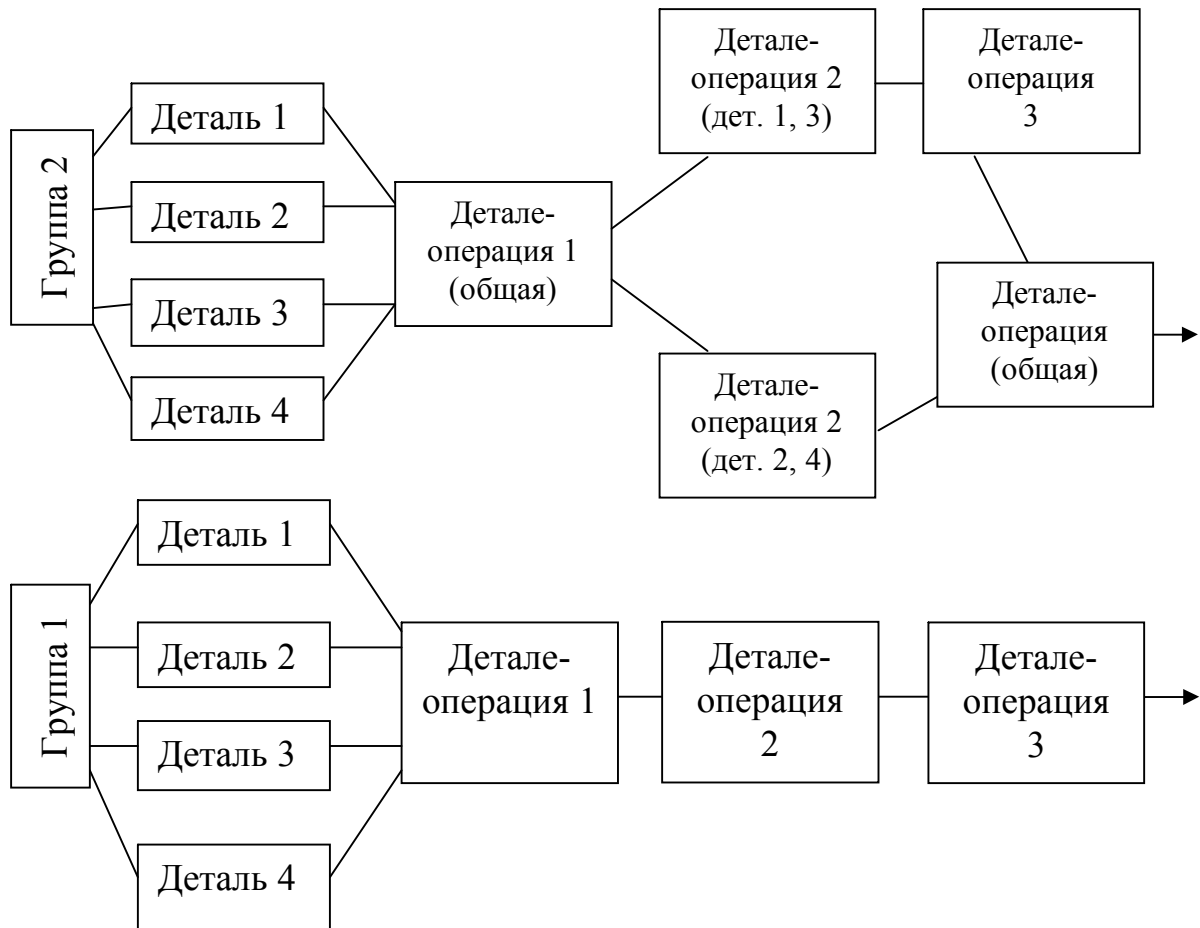


Рис. 4. Группа деталей с многооперационным процессом обработки, выполняемой на различном оборудовании

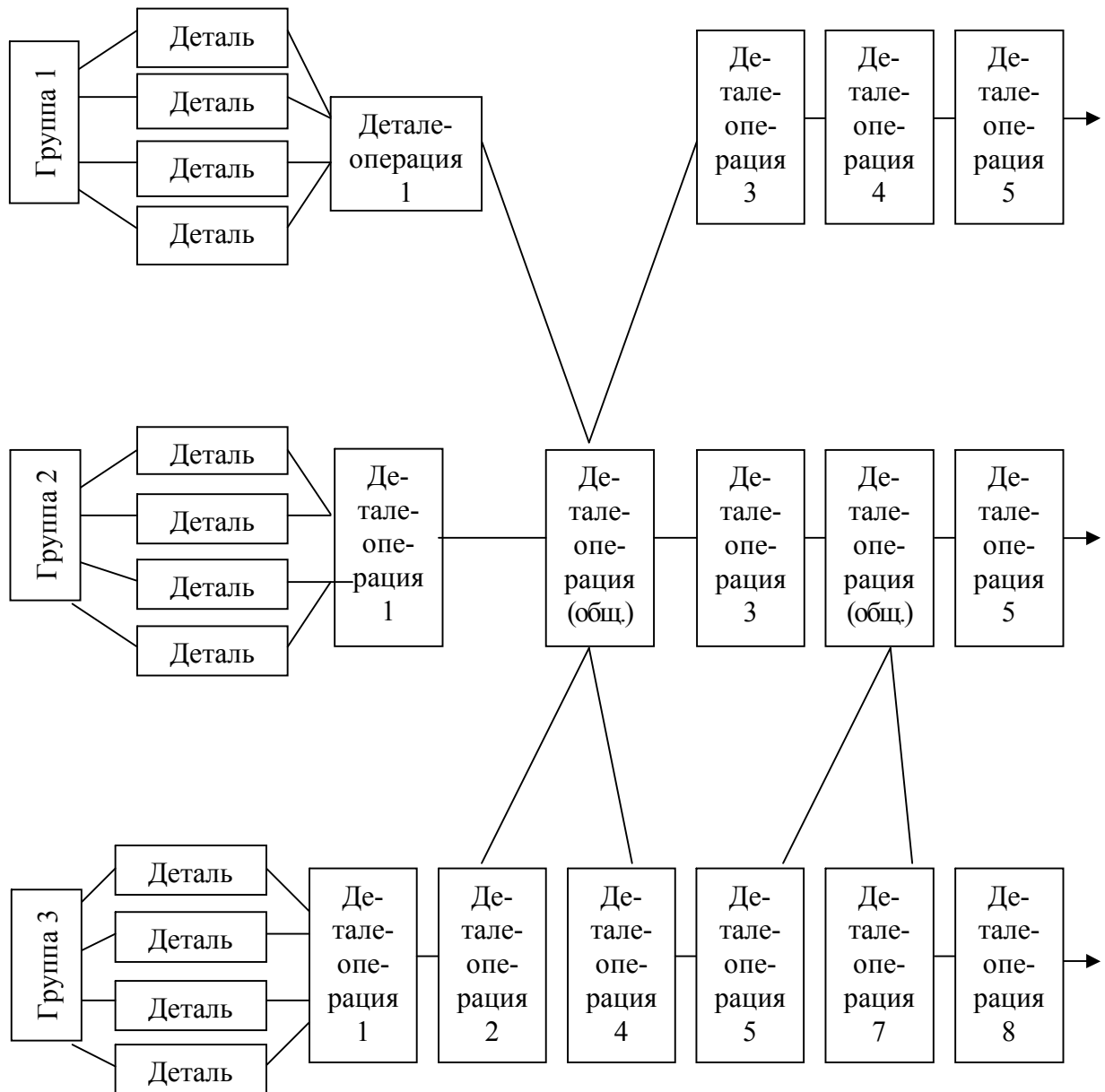


Рис. 5. Схема объединения нескольких групп деталей, имеющих сходный технологический маршрут

Последние два случая создают условия для внедрения групповых поточных линий. Основным признаком группирования здесь служит общность технологического оборудования, оснастки и наладки.

На основе комплекса признаков. В некоторых случаях создать комплексную деталь невозможно. Тогда учитывают комплекс признаков: расположение и параметры обрабатываемых поверхностей, схемы базирования.

1.3.2.2. Групповой ТП (ТО)

Результаты классификации и группирования являются основой для проектирования группового ТП (ТО).

Групповая ТО – операция, которая является общей для группы различных деталей с определенной групповой оснасткой на данном оборудовании.

Деталеоперация – план переходов при обработке конкретной детали группы.

Групповой ТП – совокупность групповых ТО, обеспечивающих обработку различных деталей группы (нескольких групп) по общему технологическому маршруту. Групповой ТП является основой для создания поддетально-групповых участков, групповых поточных линий.

На рис. 6 показана схема построения групповой поточной линии. Здесь имеет место групповой многономенклатурный поток, состоящий из деталеопераций. Здесь уже необходимо учитывать объем выпуска деталей.

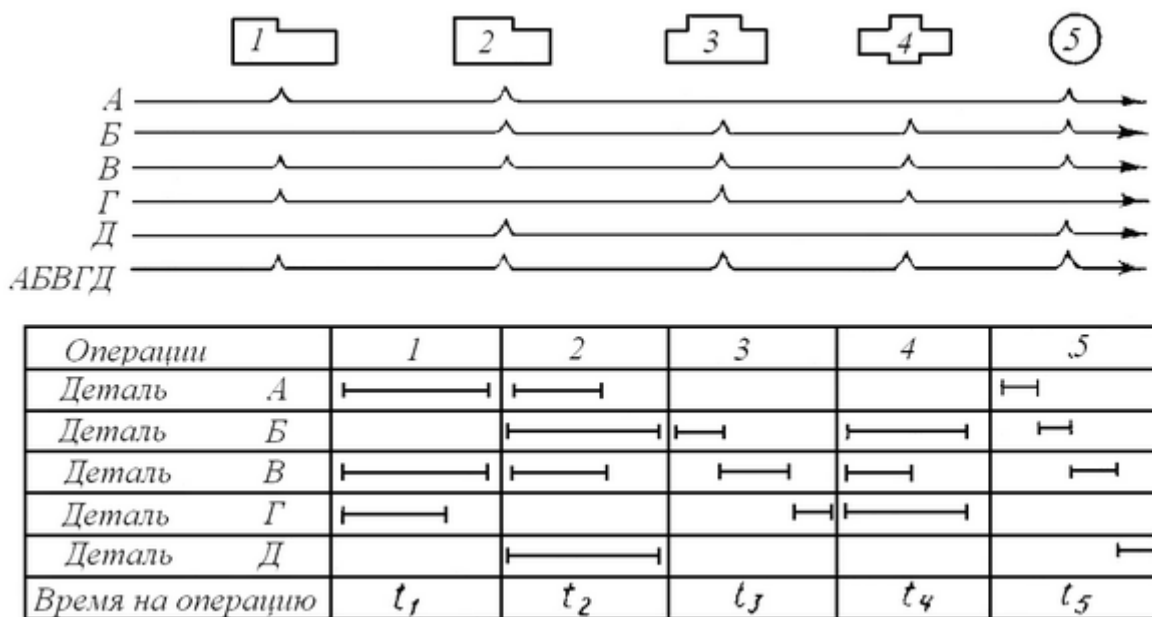


Рис. 6. Схема групповой поточной линии

По ГОСТ 14.316-75 при разработке группового ТП необходимо исходить из следующих положений:

- принятая последовательность ТО должна обеспечивать обработку любой детали группы;

- технологическая оснастка должна быть групповой или переналаживаемой и пригодной для всех деталей группы;
- применяемое оборудование должно обеспечивать высокопроизводительную обработку при минимальных затратах на переналадку;
- технологическая документация должна быть простой по форме и исчерпывающей по содержанию.

На рис. 7 показана схема построения групповой операции.

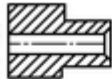
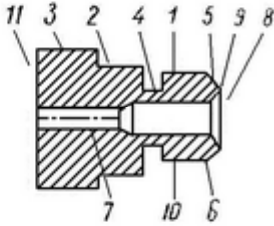
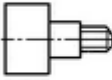
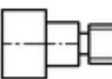
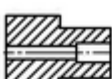

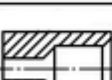
Обозначение детали	Эскиз детали	Переход										Комплексная деталь		
		Обточить поверхность 1	Обточить поверхность 2	Обточить поверхность 3	Обточить канавку 4	Центровать отверстие 5	Сверлить отверстие 6	Сверлить отверстие 7	Подрезать торец 8	Обточить фаску 9	Нарезать резьбу 10		Отрезать деталь 11	
Б		×		×		×		×	×				×	
В		×	×	×					×	×	×	×		
Г		×	×	×	×				×	×	×	×		
Д		×	×				×	×	×				×	
Е		×			×				×				×	
Ж		×				×	×	×	×				×	

Рис. 7. Построение групповой операции

1.4. Станки, используемые в ГПС

1.4.1. Тенденции развития автоматизированных металлорежущих станков

1.4.1.1. Общие сведения

В общем случае понятие "металлорежущие станки" включает:

- непосредственно станки для работы в различных типах производства (одиночные станки, автоматизированные и автоматические линии, производственные системы и т.д.);
- комплектующие для производства металлорежущих станков универсального назначения (двигатели, шпиндельные узлы, направляющие, шарико-винтовые пары и т.д.); современный станок на 50...70 % состоит из таких комплектующих;
- приспособления, обеспечивающие использование станков для конкретного производства;
- системы управления вместе с соответствующим компьютерным оборудованием (несмотря на то что такой продукцией занимаются предприятия по производству электроники, они всегда ориентированы на потребности конкретных предприятий – производителей станков);
- контрольно-измерительные приспособления, измерительные машины, системы надзора и диагностики;
- компьютерные системы и пакеты прикладных программ для разработки конструкций, технологии, планирования и организации производства;
- режущие инструменты и инструментальную оснастку.

Совершенствование металлорежущих станков направлено на рационализацию и интенсификацию производства. Современные станки должны удовлетворять качественно новым потребностям промышленности, что определяет требования к их конструкции: обеспечение, с одной стороны, высокой производительности и экономичности работы, а с другой – удовлетворение требований экологии и охраны окружающей среды.

Современные металлорежущие станки характеризуются весьма высоким техническим уровнем по сравнению с другими технологическими машинами. Тенденции развития станкостроения указаны на рис. 8.

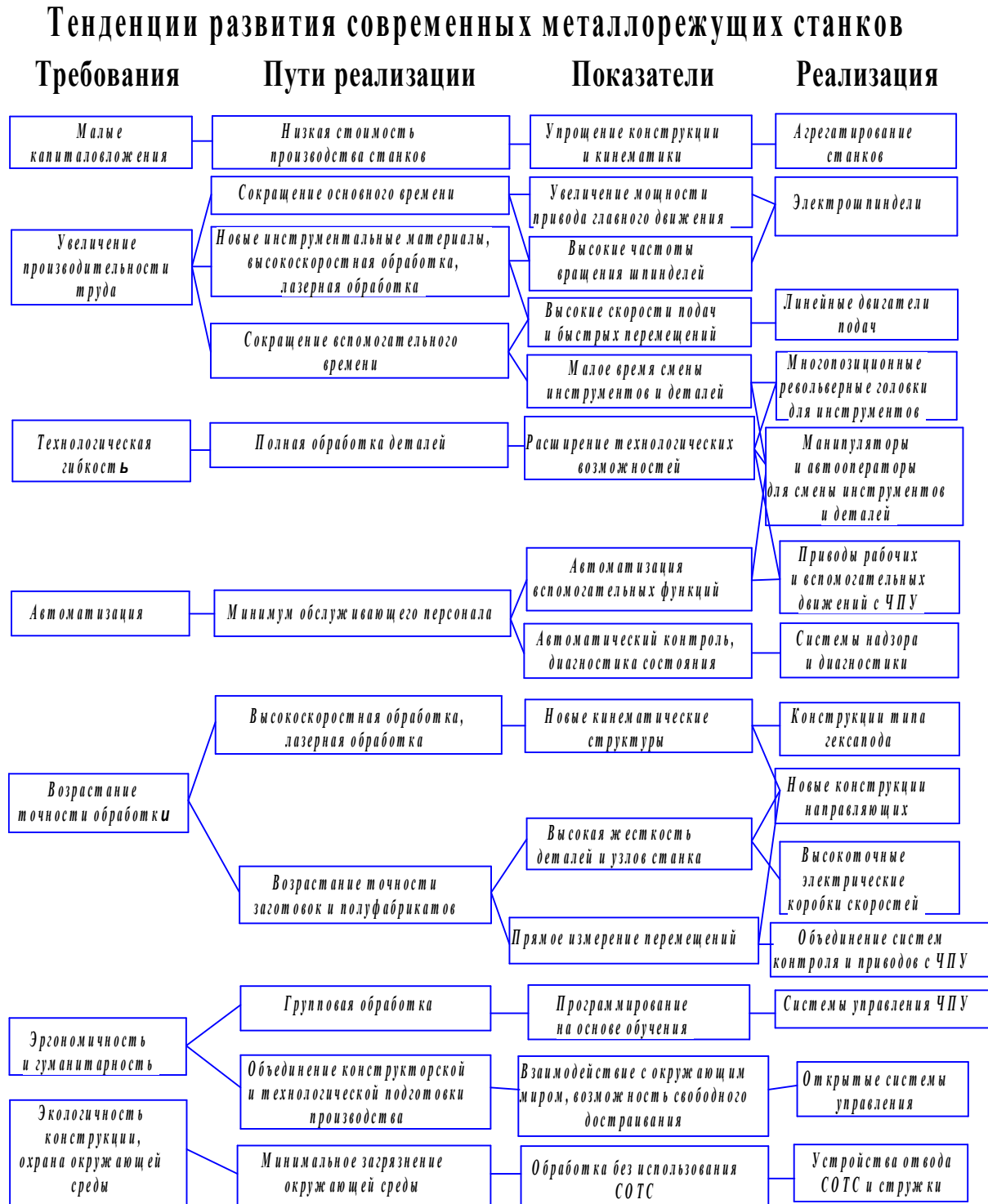


Рис. 8. Тенденции развития современных металлорежущих станков

К основным факторам, влияющим на развитие станкостроения, можно отнести:

- повышение скорости резания до уровня, максимально допустимого с точки зрения безопасности работы станка; согласно европейским нормам такие скорости превосходят 1 000 м/мин (в настоящее время до 100 000 м/мин), а процесс получил название "обработка со сверхвысокими скоростями";
- обработку лучом лазера, используемым в качестве инструмента;
- обработку без использования смазывающе-охлаждающих технологических средств (СОТС), являющихся одним из основных источников загрязнения окружающей среды;
- точную обработку деталей из закаленных сталей на токарных станках, позволяющую исключить дорогостоящий и экологически грязный процесс шлифования.

Рассмотрим некоторые из представленных на рис. 8 тенденций более подробно.

1.4.1.2. Производительность и надежность станков

Повышение производительности и надежности станков может быть обеспечено двумя способами. Первый из них основан на сокращении количества действий, связанных с настройкой, подналадкой и ремонтом станка, потребного на эти цели времени, и обеспечивается путем использования проверенных технических решений при проектировании деталей и узлов станка; новых высокопрочных конструкционных материалов и технологий, обуславливающих высокую износостойкость деталей и узлов станка; планово-предупредительных ремонтов (ППР).

Второй способ – оснащение станка датчиками и системами надзора и диагностики (мониторинга), которые распознают отклонения в работе и сигнализируют об этом прежде, чем наступит отказ станка. Такие системы могут быть использованы также при ремонте станка.

Повышение производительности обработки традиционно связано со снижением основного и вспомогательного времени. Основное время может быть сокращено путем увеличения режимов обработки. Однако такой подход предъявляет к станку жест-

кие дополнительные требования: высокая статическая, динамическая и тепловая жесткость конструкции; использование компьютеров с очень большим объемом памяти, обеспечивающих точные пространственные перемещения режущих инструментов; наличие устройств смены инструментов повышенной вместимости, с малым временем смены инструмента; наличие устройств автоматической смены деталей. Легко заметить, что последние два требования направлены на сокращение вспомогательного времени.

1.4.1.3. Технологическая гибкость и автоматизация

Технологическая гибкость станка вместе с гибкостью систем управления и обеспечения заготовками обуславливает гибкость всей производственной системы (ПС). Это означает простую и относительно быструю приспособляемость к изменению требований производства, в частности быстрое перепрограммирование и переналадку для обработки новых деталей малыми сериями.

Расширение технологических возможностей станка позволяет сократить время обработки детали; уменьшить количество станков и занимаемые ими производственные площади; исключить из производственного цикла время и стоимость транспортирования деталей между отдельными станками, время закрепления и снятия их со станка, манипулирования и т.д.; ликвидировать специальные приспособления для базирования и закрепления деталей.

Отличительные особенности современных станков – автоматизация их рабочего цикла, легкость обслуживания, работа с ограниченным участием оператора, автоматизированные надзор и диагностика условий работы станка и процесса обработки, контроль размеров и точности обработки.

Еще в 90-е гг. XX в. считалось, что главная цель автоматизации станка – обеспечение его работы в безлюдном режиме (ночи, выходные дни, праздники). Это вызвало необходимость дополнительной комплектации станков системами манипулирования (в том числе роботами), транспортирования, инструментального обеспечения и т.д. Так возникли ГПМ, ГПЯ, ГПС и другие сред-

ства гибкой автоматизации производства. Однако они не предусматривали автоматизацию функций, которые выполняет оператор.

Под автоматизацией понимают наряду с обеспечением безлюдной работы "разумность" функционирования, т.е. самообслуживание и оценку изменений условий работы во времени, введение необходимых коррективов, контроль качества обработки, возможность принятия решений. Такое развитие было бы невозможно без современной компьютерной техники.

1.4.1.4. Точность станков

Высокая точность обработки является одним из основных требований к металлорежущему станку, которое определяет его конкурентоспособность. На точность обработки оказывают влияние:

- геометрическая точность станка, в частности взаимная перпендикулярность и параллельность направляющих, поверхностей столов, осей шпинделя, револьверных головок, поворотных столов, а также точное соединение всех деталей и узлов;
- статические, динамические и термические свойства несущих конструкций;
- надежность системы управления всеми движениями узлов станка, обеспечивающая отработку команд в нескольких осях и с высокими скоростями перемещения;
- точность систем измерения перемещений узлов станков, обеспечивающих точность позиционирования в пределах $\pm 0,001$ мкм.

Кроме перечисленных факторов важную роль в обеспечении точности обработки играют точность работы сервоприводов, возможность контроля обработанных деталей, износ режущих инструментов, диагностика состояния станка.

1.4.1.5. Агрегатирование станков

Производство и технологические возможности станка должны быть максимально адаптированы к требованиям потребителя. Один из путей удовлетворения этих требований – удешевление станков на основе их агрегатирования, т.е. применения нормализованных модулей. Такой подход традиционно использовался и

используется при производстве агрегатных станков, однако в последние годы он распространяется и на производство ГПМ и ГПС. Это связано с появлением на рынке высококачественных комплектующих (винтовые пары, шпиндельные узлы, направляющие, несущие конструкции из легких сплавов, системы управления), с использованием которых можно относительно просто разработать станок потребной конфигурации.

1.4.2. Станки с ЧПУ и обрабатывающие центры токарной группы

1.4.2.1. Тенденции развития

Станки с ЧПУ и обрабатывающие центры токарной группы обеспечивают обработку главным образом тел вращения, причем наряду с различными операциями токарной обработки выполняется сверление, развертывание, нарезание резьб, фрезерование поверхностей, расположенных как на оси детали, так и перпендикулярно к ней, наклонно либо с эксцентриситетом. Таким образом, рассматриваемые станки многофункциональны, с преобладанием токарных операций. Это означает, что их компоновки и структура подобны традиционным токарным станкам, деталь крепится во вращающемся шпинделе, а подачи имеют режущие инструменты.

Сформулируем основные требования, предъявляемые к указанной группе:

1) быстрое и гибкое переоснащение станка и наладка его для обработки новых деталей, что достигается:

- оптимизацией рабочего пространства, обеспечивающей свободное перемещение всех рабочих органов, доступность для наладчика и простоту обслуживания. В случае ручной замены заготовок и инструментов также обеспечивается их легкодоступность, а при автоматизации этих функций – свободное пространство для манипулирования и гарантированная очистка элементов базирования и закрепления от загрязнения;
- возможностью замены автоматического управления (ЧПУ) ручным;

- простотой наладки и обслуживания, что не требует длительного обучения;

2) низкая себестоимость обработки, обеспечиваемая за счет:

- агрегатирования конструкции станка, позволяющего быстро приспособить базовую конструкцию к требованиям конкретного потребителя;

- резкого увеличения скоростей рабочих и установочных перемещений и, как следствие, снижения времени рабочего цикла;

3) изменение конструктивной структуры токарных станков в результате:

- выполнения установочных перемещений и движений подачи не суппортом с револьверными головками, а пинолью электрошпинделя, имеющей значительно меньшую массу;

- использования дополнительного шпинделя для перехвата заготовки в ходе обработки;

- все более широкого применения вертикальной компоновки, упрощающей автоматизированную установку заготовок и отвод стружки;

4) возможность выполнения различных технологических операций, поскольку до 80 % всех деталей после токарной обработки требует дополнительно сверления, фрезерования, резьбообработки. Комплексная обработка деталей обеспечивается за счет:

- применения инструментальных револьверных головок значительной вместимости, в том числе с возможностью вращения инструмента;

- использования дополнительного шпинделя для перехвата заготовки с целью ее обработки с другой стороны;

- увеличения мощности привода главного движения, а также диапазонов частот вращения шпинделя и подач;

- использования управляемого вращения шпинделя;

- применения лазера для выполнения сварки, поверхностной закалки и резки;

- использования новых инструментальных материалов, например сверхтвердых, для замены шлифования точением;

5) высокая точность обработки, достижение которой возможно вследствие:

- все более широкого использования базовых деталей из полимербетонов, с высокими динамическими и термическими свойствами, обеспечивающих минимальные механические и тепловые деформации станка, а также гасящих вибрации;

- применения точных сервоприводов, позволяющих значительно повысить точность позиционирования;

- использования измерительных устройств для контроля размеров детали в ходе обработки;

6) увеличение производительности и надежности работы, достигаемое в результате:

- резкого увеличения скоростей рабочих и установочных перемещений и, как следствие, снижения времени рабочего цикла;

- значительной мощности приводов;

- сокращения времени обработки вследствие возрастания скоростей рабочих и быстрых перемещений и скорости удаления стружки;

- высокой гибкости процесса и возможности обработки детали со всех сторон без перезакрепления;

- использования систем надзора и диагностики состояния инструментов и станка;

7) экологичность и безопасность работы, обеспечиваемая посредством:

- работы без использования или с минимальным использованием СОТС;

- приспособлений, защищающих оператора от травм в случае поломок и аварий.

1.4.2.2. Компоновочные схемы

В настоящее время используется целый ряд компоновок станков и обрабатывающих центров токарной группы в зависимости от их технологического назначения. Станки с **горизон-**

тальной осью вращения шпинделя изделия по принципу закрепления деталей можно классифицировать следующим образом:

1) закрепление деталей в патроне с возможностью обработки с одной стороны, с управляемым вращением относительно оси C ; один суппорт с возможностью перемещения по осям X и Z , на котором установлена револьверная головка с неподвижными (резцы) и вращающимися (сверла, фрезы) инструментами (рис. 9, а). Вращающиеся инструменты в зависимости от конструкции головки перемещаются как параллельно, так и перпендикулярно к оси детали;

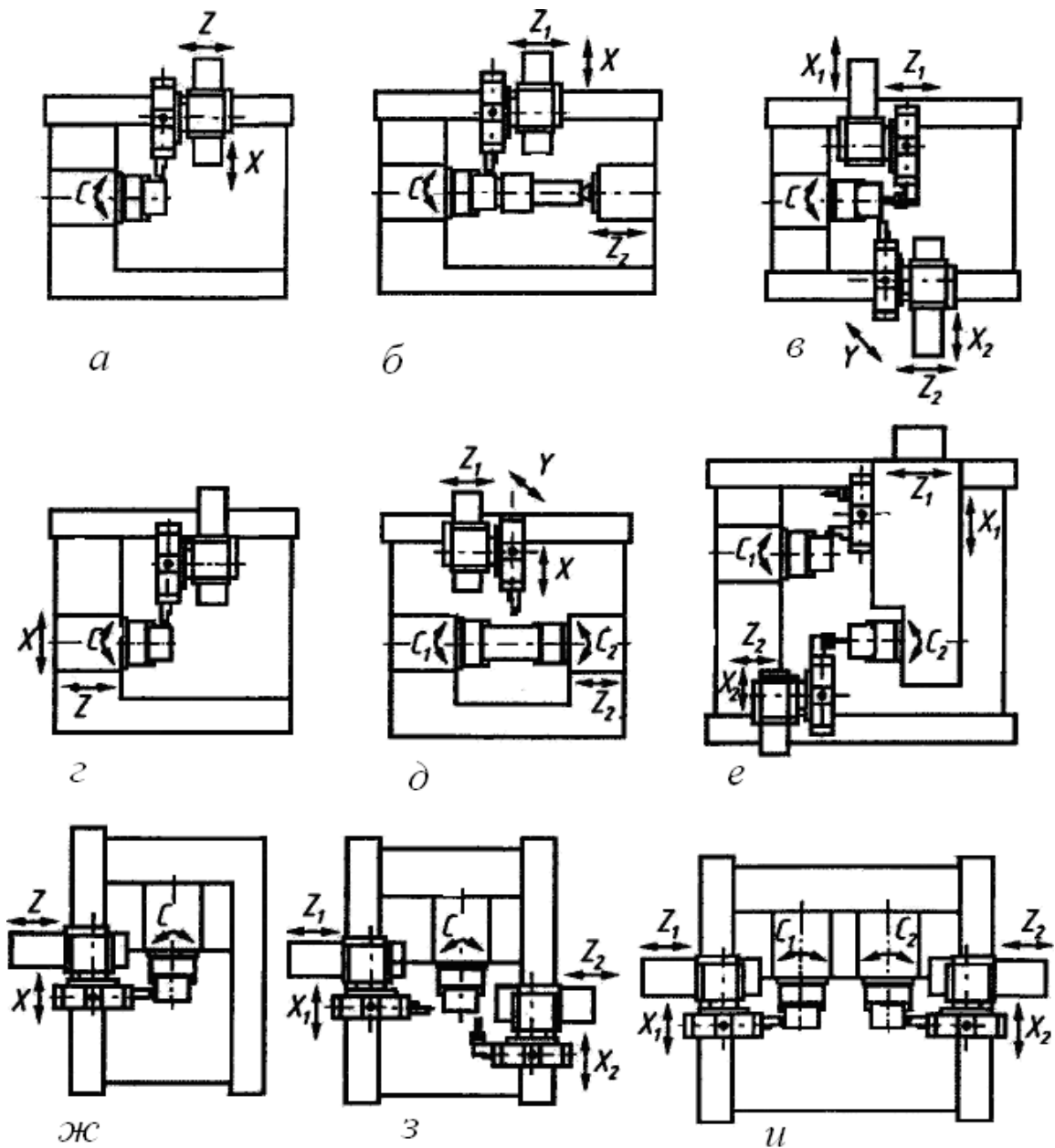


Рис. 9. Компоновочные схемы станков токарной группы с горизонтальной осью вращения детали

2) закрепление деталей в патроне с поджатием задним центром (рис. 9, б); компоновочная схема аналогична схеме, приведенной на рис. 9, а;

3) закрепление деталей в патроне с возможностью обработки с одной стороны, с управляемым вращением относительно оси C ; два независимых суппорта с револьверными головками, несущими неподвижные и вращающиеся инструменты. Суппорты расположены с двух сторон относительно шпинделя станка, один имеет перемещения по осям X_i и Z_i , второй – по осям X_2 , Z_2 и Y (рис. 9, в);

4) закрепление деталей в патроне с возможностью обработки с одной стороны, с управляемыми перемещениями шпинделя относительно осей X , Z и C ; неподвижная револьверная головка с неподвижными (резцы) и вращающимися (сверла, фрезы) инструментами (рис. 9, г). Такая компоновка возможна только при использовании электрошпинделей;

5) закрепление деталей сначала в основном, а затем во вспомогательном (перехватывающем) патроне с управляемым вращением относительно оси C (рис. 9, д). Вспомогательный патрон перемещается относительно оси Z_2 , револьверная головка расположена между патронами и имеет перемещения относительно осей Z_1 , X , иногда – оси Y .

Перехват обрабатываемой детали осуществляется без остановки вращения основного шпинделя вследствие синхронизации частот вращения обоих патронов. Станок обеспечивает обработку детали со всех сторон;

6) закрепление деталей сначала в основном, а затем во вспомогательном (перехватывающем) патроне с управляемым вращением относительно оси C (рис. 9, е), причем функция перехвата осуществляется одним из гнезд револьверной головки. Две револьверные головки имеют перемещения относительно осей Z_1 , X_1 и Z_2 , X_2 соответственно. Станок обеспечивает обработку детали со всех сторон;

7) закрепление коротких деталей (типа диска) в патроне с управляемым вращением относительно оси C (рис. 9, ж) и одной револьверной головкой, вмещающей резцы и вращающиеся инструменты. Головка перемещается вдоль осей Z и X ;

8) закрепление коротких деталей (типа диска) в патроне с управляемым вращением относительно оси C (рис. 9, з) и двумя револьверными головками с резцами и вращающимися инструментами. Головки имеют перемещения вдоль осей Z_1, X_1 и Z_2, X_2' ;

9) закрепление коротких деталей (типа диска) в двух патронах с параллельными осями (рис. 9, и) с управляемым вращением относительно оси C и двумя револьверными головками с резцами и вращающимися инструментами. Головки имеют перемещения вдоль осей Z_1, X_1 и Z_2, X_2 .

1.4.2.3. Технологические возможности

Анализ конструкций деталей типа тел вращения показывает, что более 80 % из них, кроме простейших цилиндрических, конических и торцовых поверхностей, имеют прямые и винтовые канавки и выступы, плоские поверхности, произвольным образом расположенные в пространстве, окна, глубокие отверстия и т.п.

В связи с этим современные ГАП все чаще вместо традиционных токарных станков с ЧПУ используют многоцелевые токарные станки. В этом случае, как отмечалось выше, револьверные головки кроме традиционных инструментов (неподвижно закрепленных в головке) могут быть оснащены инструментами с независимым вращением параллельно, перпендикулярно или наклонно к оси детали (рис. 10). Такие головки характеризуются малым временем замены инструмента на рабочей позиции, сравнительно небольшими размерами и могут иметь ось вращения как параллельную, так и перпендикулярную к оси обрабатываемой детали

Наряду с рассмотренными выше компоновками токарных станков и ГПМ получают распространение и другие компоновки, с более широкими технологическими возможностями, например:

- установка поперечного суппорта для резцов и осевых инструментов около каждого токарного шпинделя наряду с одной или двумя револьверными головками;

- введение в конструкцию 4-6 шпинделей изделия вместо одного с возможностью поворота шпиндельного барабана на постоянный угол (рис. 12), что позволяет использовать оборудование с ЧПУ в крупносерийном и массовом производстве; подготовительно-заключительное время в этом случае в 4-5 раз меньше, чем при использовании традиционных многошпиндельных токарных автоматов;

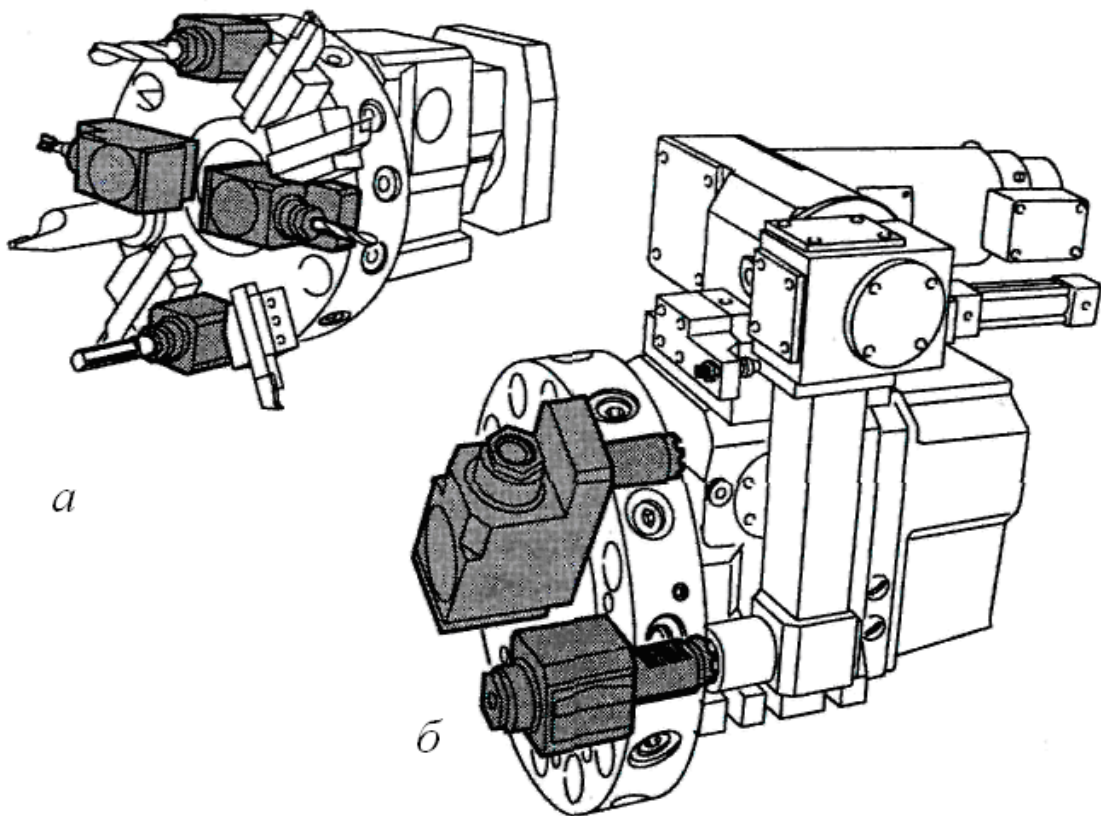


Рис. 10. Револьверные головки с вращающимися (а) и неподвижными (б) инструментами

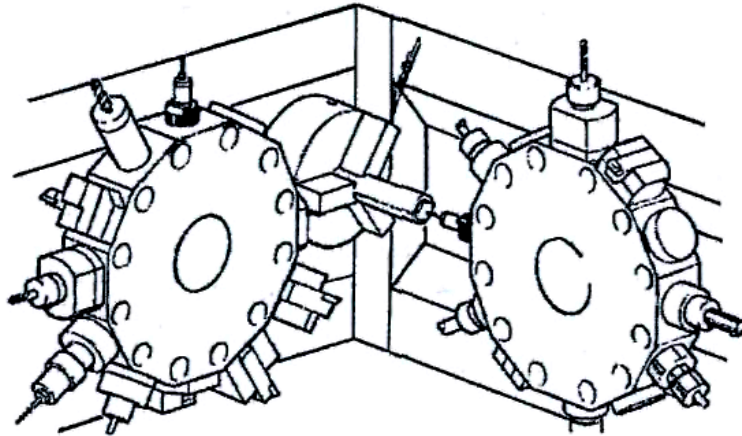
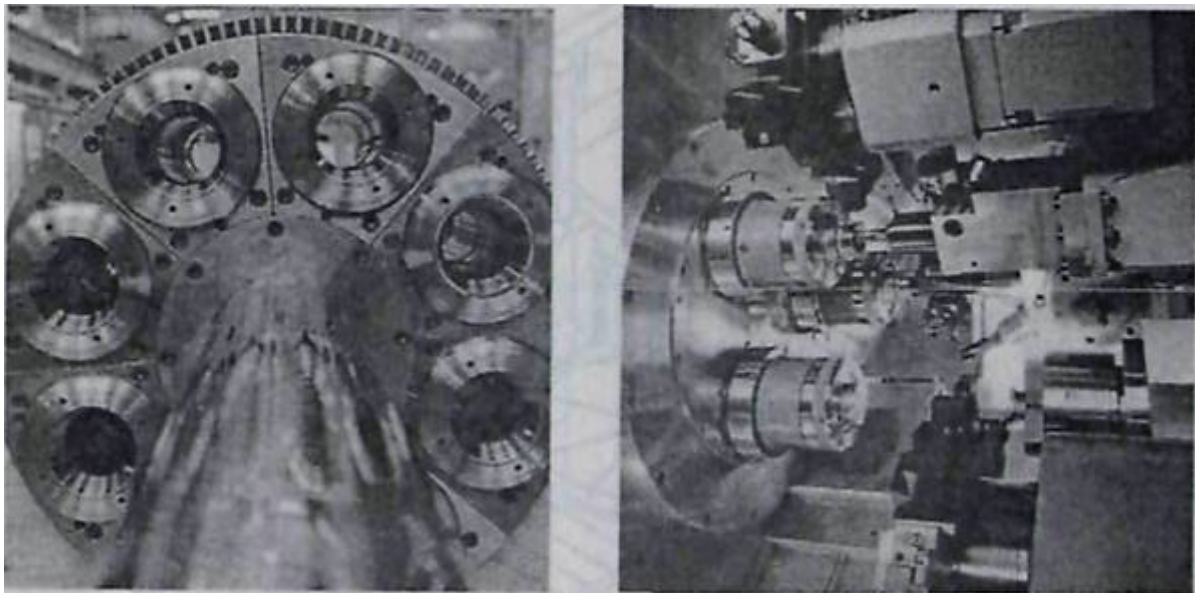


Рис. 11. Возможные положения револьверных головок относительно оси детали



а

б

Рис. 12. Многошпиндельные токарные станки фирмы "Gildemeisten: *а* – шпиндельный барабан; *б* – рабочая зона

- замена одной из традиционных револьверных головок на инструментальный шпиндель с возможностью управляемого поворота его оси на произвольный угол (рис. 13); инструментальный магазин в этом случае содержит до 100 режущих инструментов;

- установка в револьверной головке червячной зуборезной фрезы (рис. 14), что в случае координации перемещений по соответствующим осям обеспечивает возможность нарезания на детали зубьев и исключает необходимость операций зубообра-
- введение в состав многоцелевого токарного станка шлифовального шпинделя, что позволяет совмещать операции точения и шлифования.

В конечном счете появляется возможность комплексной обработки детали на одном РМ без ее перемещения со станка на станок, обеспечивается соответствующее базирование без потерь точности и т.д.

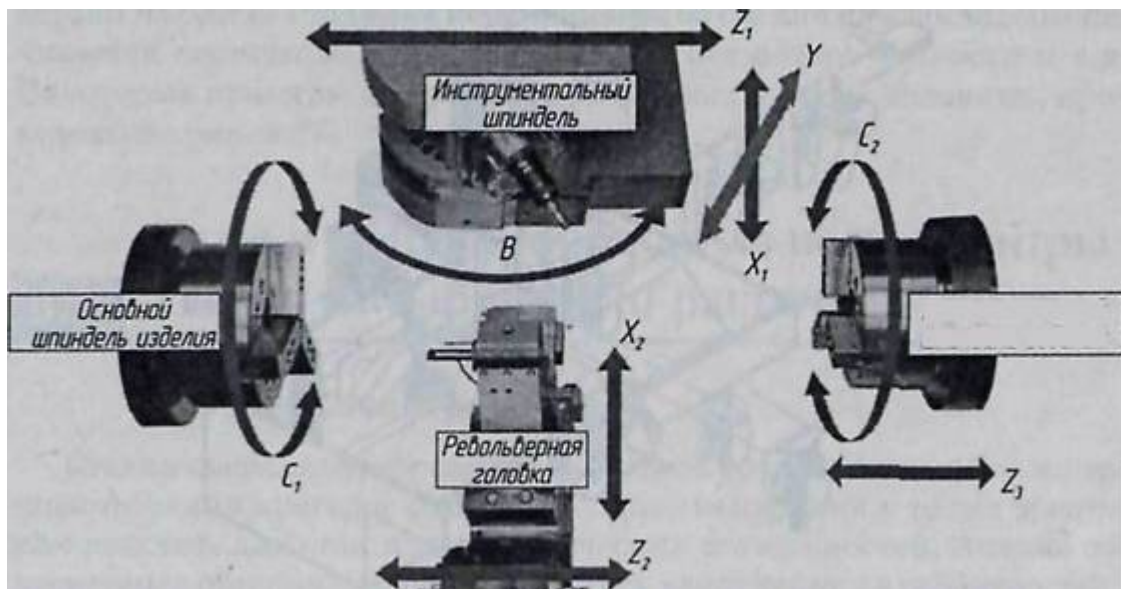


Рис. 13. Оси управления и функциональные узлы станка МТ 1500 фирмы "Mori Seiki"

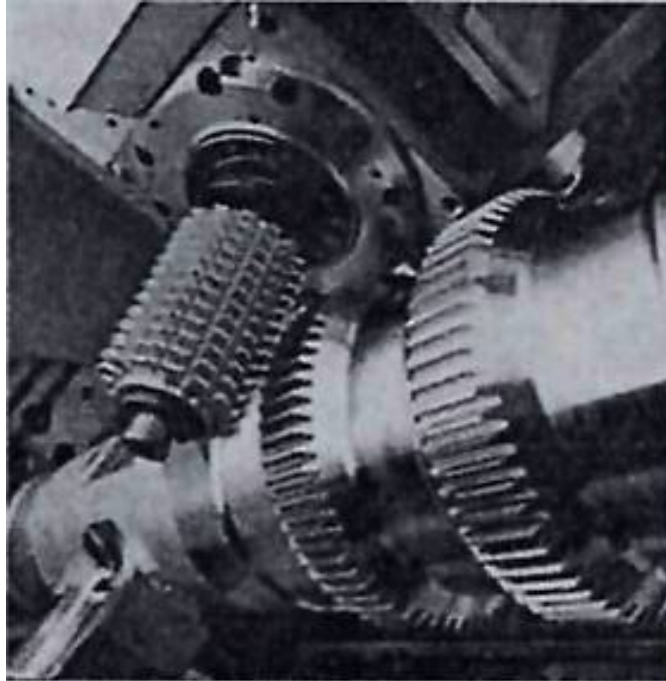


Рис. 14. Установка червячной фрезы в револьверной головке токарного многоцелевого станка Millturn фирмы "WFL Technologies GmbH&Co.KG"

1.4.3. Станки с ЧПУ и обрабатывающие центры сверлильно-фрезерно-расточной группы

1.4.3.1. Тенденции развития

Станки сверлильно-фрезерно-расточной группы в процессе совершенствования претерпели значительные изменения с точки зрения как конструкции, так и технологических возможностей. Анализ современных станков позволяет выделить следующие их особенности:

1) большое разнообразие конструкций в зависимости от размеров и массы обрабатываемых деталей, свойств обрабатываемого материала, выполняемых операций, уровня автоматизации, количества осей управления и т.д.;

2) различная организация рабочего пространства с целью обеспечения управления по нескольким осям; облегчения транспортирования стружки; повышения производительности на основе использования многошпиндельных головок, размещенных в инструментальных магазинах наряду с традиционными инстру-

ментами; возможности обработки детали с нескольких сторон путем использования поворотных и глобусных столов;

3) использование перспективных структур типа гексапода;

4) изменение конструкций приводов главного движения путем замены традиционных кинематических цепей, обеспечивающих частоту вращения до 8 000...15 000 об/мин, электрошпинделями с частотами вращения до 100 000 об/мин;

5) изменение конструкций приводов подачи путем замены традиционных двигателей постоянного и переменного тока на линейные двигатели; уровень рабочих подач доходит до 30 м/мин, а быстрых ходов – до 120 м/мин и более;

6) возрастание точности обработки вследствие применения новых систем управления, использования технологий сверхскоростной обработки, увеличения точности позиционирования узлов станка до $\pm 0,001$ мм и палет с деталями до $\pm 0,002$ мм, минимализации зазоров в соединениях узлов и элементов станка;

7) повышение статической, динамической и термической жесткости вследствие компьютеризации и визуализации расчетов станка; повышения жесткости конструкций, стандартизации и унификации используемых узлов; использования новых конструкционных материалов (сотовые конструкции, полимербетоны и т.п.);

8) новые механизмы замены палет с изделиями и режущих инструментов, обеспечивающих резкое сокращение времени замены;

9) использование лазера в качестве инструмента, что позволяет обеспечивать не только прецизионную обработку, но и сварку отдельных элементов детали непосредственно на станке;

10) повышение надежности работы станка на основе широкого использования систем периодической и непрерывной (мониторинг) диагностики его работоспособности.

1.4.3.2. Компоновочные схемы

В настоящее время используется целый ряд компоновок станков и обрабатывающих центров сверлильно-фрезерно-расточной группы в зависимости от их технологического назначения:

- 1) с горизонтальной и вертикальной осью вращения шпинделя;
- 2) с крестовым столом, имеющим рабочие перемещения в горизонтальной плоскости вдоль осей X и Y , и пинолью шпинделя, перемещающейся вдоль оси Z (рис. 15, *a*);
- 3) со столом, перемещающимся вдоль оси X , шпиндельной бабкой, имеющей перемещение вдоль оси Y , и пинолью шпинделя, перемещающейся относительно оси Z (рис. 15, *б*);
- 4) со шпиндельной бабкой, имеющей перемещение вдоль осей X , Y , Z (рис. 15, *в*);
- 5) портального типа (рис. 15, *г*).

1.4.4. Конструкции многоцелевых станков типа гексапод

Традиционные кинематические структуры металлорежущих станков основаны на объединении нескольких поступательных и (или) вращательных перемещений. Такое объединение требует весьма жестких и материалоемких конструкций базовых деталей станка, а инструмент связан с корпусом открытой кинематической цепью.

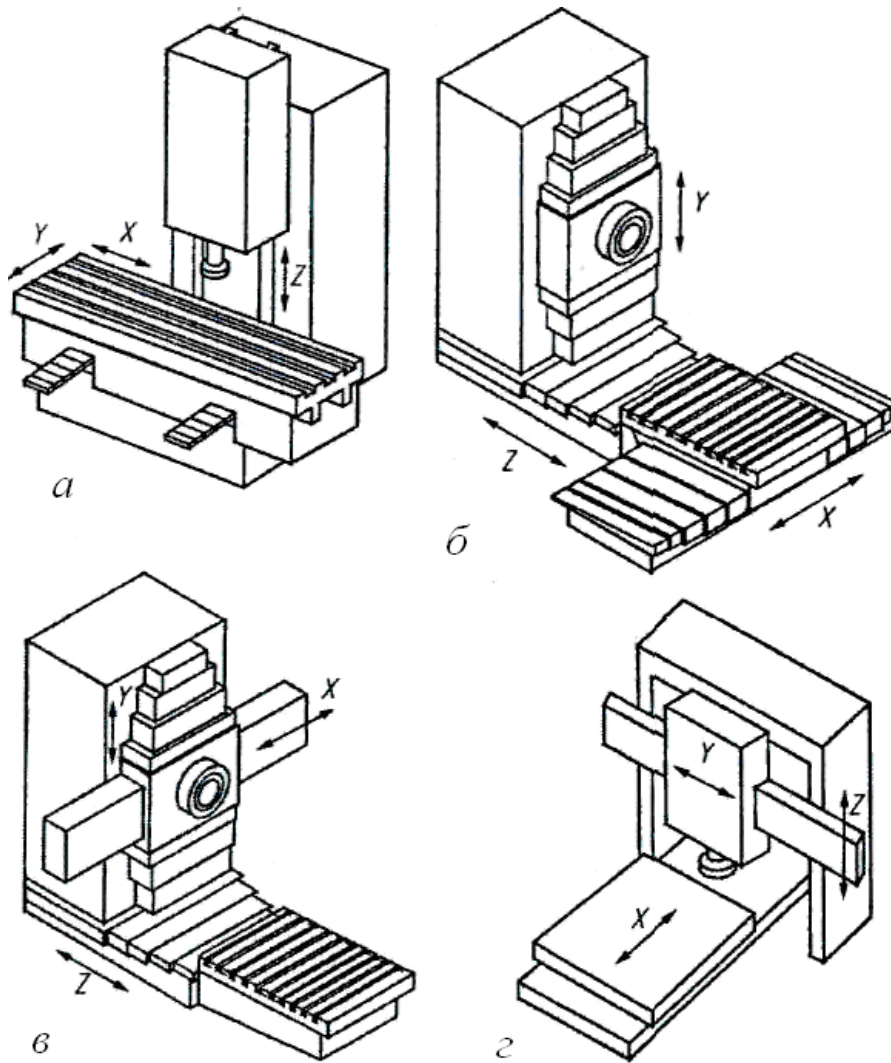


Рис. 15. Компонувочные схемы станков сверлильно-фрезерно-расточной группы:
 а – с крестовым столом; б – с перемещением стола;
 в – с перемещением шпиндельной бабки; г – портального типа

Новый подход к компоновке станков основан на использовании замкнутых кинематических цепей. В этом случае приводы так называемой рабочей платформы (место крепления детали или инструмента) обеспечивают непосредственный контакт режущего инструмента с деталью, не перемещая никаких дополнительных узлов и элементов станка. Такие структуры получили название *гексаподов*.

Как любые инновационные идеи, гексаподы имеют свои достоинства и недостатки. С одной стороны, они характеризуются: высокой жесткостью и точностью обработки; возможностью

реализации движений с шестью степенями свободы; малыми массами подвижных узлов; высокими скоростями и ускорениями по всем осям; отсутствием специальных фундаментов для монтажа станка в цехе; простотой конструкций корпусных деталей; преобладанием растягивающих и сжимающих усилий, отсутствием усилий изгиба; унификацией приводов по всем осям; простотой сборки.

С другой стороны, можно отметить следующее: соотношение пространства для обработки и всего объема, занимаемого станком, хуже по сравнению с традиционными станками; любое линейное перемещение требует одновременного управления сразу по шести осям; необходимо иметь шесть независимых приводов для перемещений рабочей платформы; ограничен угол поворота рабочей платформы; для его увеличения необходима дополнительная ось поворота (привод и система управления); затруднен контроль точности перемещений; имеются значительные тепловые удлинения вдоль осей в связи с большей длиной узлов.

По сравнению с традиционными станками гексаподы имеют в 5-10 раз большую жесткость и повышенную в 2-3 раза точность. Наиболее вероятные области их использования: обработка литейных форм и матриц, лопаток турбин и других деталей с пространственно-сложной формой; шлифование и заточка режущих инструментов с пространственным профилем; автоматическая сборка и сварка; лазерная, плазменная и струйная обработка; обработка кристаллов и ювелирных изделий.

Примеры структурных схем гексаподов приведены на рис. 16.

1.4.5. Шлифовальные станки с ЧПУ

Современные шлифовальные станки с ЧПУ по сравнению с традиционными шлифовальными станками претерпели следующие изменения:

- 1) все линейные перемещения осуществляются с помощью шариковинтовых пар с приводом от двигателей постоянного тока;

2) правка круга выполняется алмазным карандашом или роликом с управлением от системы ЧПУ;

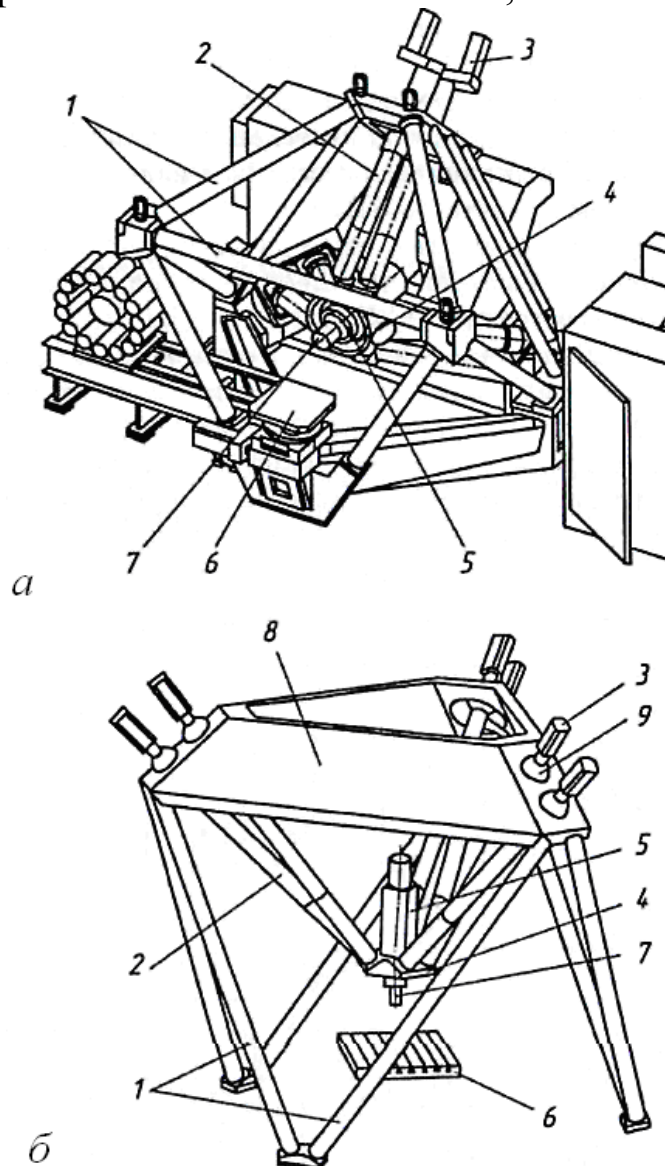


Рис. 16. Структуры гексаподов с горизонтальной (а) и вертикальной (б) осями вращения шпинделя фирмы "Ingersoll": 1 – несущая конструкция; 2 – рычаг управляемой длины; 3 – двигатель; 4 – рабочая платформа; 5 – электрошпиндель; 6 – рабочий стол; 7 – режущий инструмент; 8 – каркас; 9 – шарнир

3) используются ультразвуковые датчики для точного подвода круга к детали после быстрого перемещения; длина трассы перехода к рабочей подаче составляет 0,25 мкм;

4) широко применяются новые конструкционные материалы для изготовления направляющих и базовых деталей (пластмассы, искусственные граниты и т.п.);

5) имеются устройства динамической балансировки шлифовального круга вместе с планшайбой, системы измерения и контроля; это исключает влияние на процесс обработки таких факторов, как износ шлифовального круга, возникновение колебаний, тепловые и механические деформации узлов станка и т.п., обеспечивает требуемую точность обработки и шероховатость обработанной поверхности;

6) имеются магазины со шлифовальными кругами и устройствами для их правки;

7) расширен диапазон режимов шлифования, что позволяет в ходе одного и того же цикла обработки использовать различные виды шлифования – от глубинного до прецизионного.

Схема шлифовального станка для обработки наружных, внутренних и торцовых поверхностей показана на рис. 17.

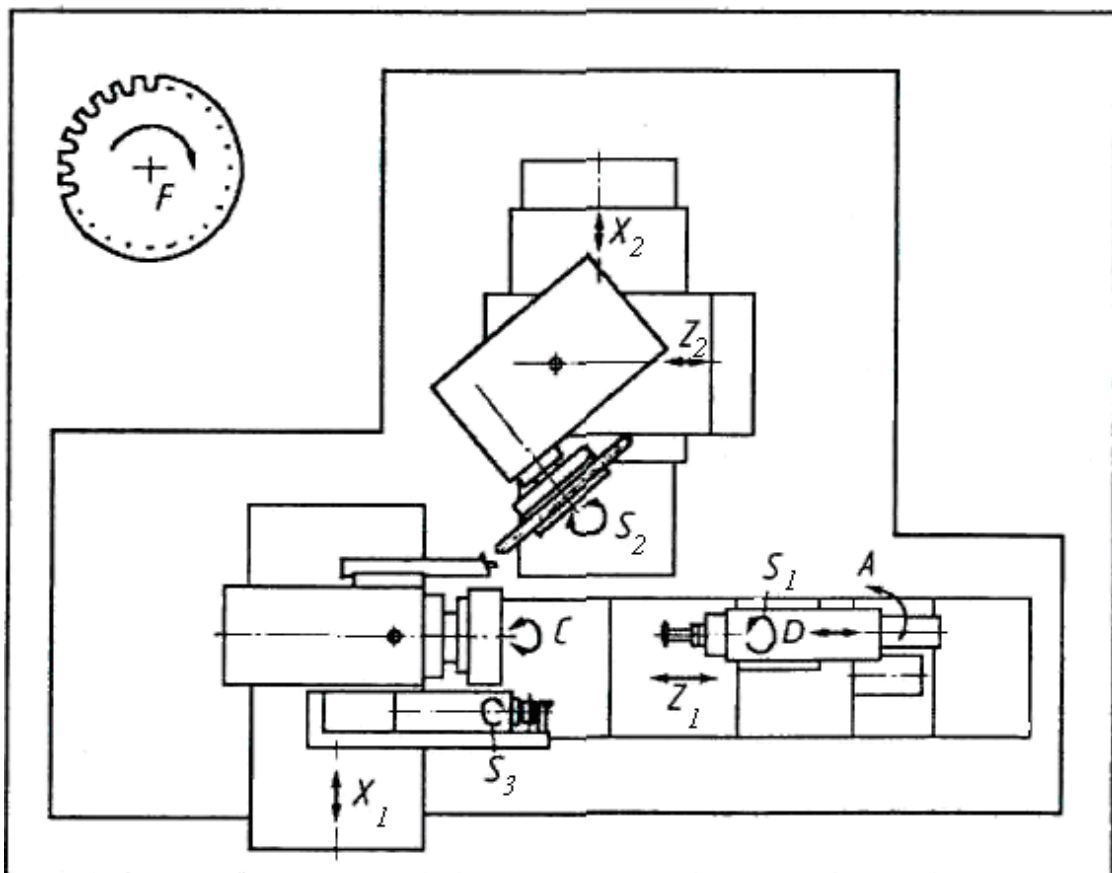


Рис. 17. Схема круглошлифовального станка с ЧПУ:
 X_1, C, S_3 – программируемые движения передней бабки;
 X_2, S_2, Z_2 – программируемые движения шлифовальной бабки;
 S_1, Z_1, A – программируемые движения задней бабки

2. РАЗРАБОТКА ТЕХПРОЦЕССОВ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ

2.1. Анализ существующих направлений проектирования ТП

Можно выделить следующие методы проектирования ТП механической обработки (рис. 18).

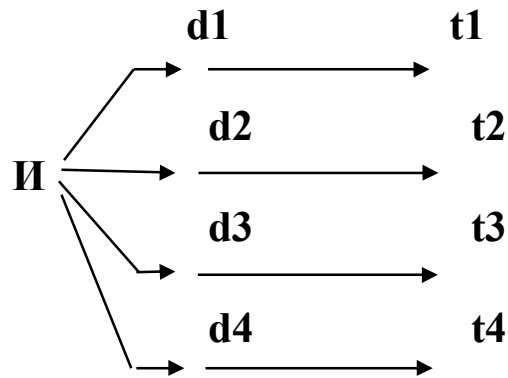


Рис. 18. Методы проектирования ТП

Метод заимствования основан на существующих ТП, разработанных для подобных деталей. Метод синтеза – разработка нового, ранее отсутствующего ТП.

2.1.1. Метод заимствования

Проектирование ЕТП. Для каждой детали di , входящей в состав изделия (I), проектируется свой ТП – ti (рис. 19). В процессе проектирования решаются вопросы выбора оборудования, оснащения, объединения отдельно обрабатываемых деталей на одной операции и т.д. Метод достаточно просто реализуется на ЭВМ. Процесс-аналог дорабатывается под конкретные размеры детали. Недостаток: необходимо иметь большое количество про-



цессов-аналогов, иначе трудно учесть особенности каждой детали.

Рис. 19. Проектирование ЕТП

Проектирование УТП. Предварительно детали d_{ij} , входящие в состав изделия или нескольких изделий I_i , объединяются в группы K_1 , K_2 и т.д., причем обработка всех деталей, входящих в группу, возможна по одному УТП (рис. 20). Если появляется изделие I_5 , включающее в свой состав деталь d_{51} , то первоначально рассматривается вопрос о возможности включения детали d_{51} в одну из групп. Если $d_{51} \subset K_i$ ($i = 1...3$), то для ее изготовления нет необходимости в проектировании нового ТП, так как она может быть обработана по существующим унифицированным ТП. При выборе средств технологического оснащения учитывается *приведенная производственная программа* по каждой группе, что приводит к искусственному повышению серийности и позволяет применять оборудование, характерное для предприятий с крупносерийным и массовым типом производств. Это – главное преимущество. Одновременно *сокращается время* на проектирование ТП (так как надо проектировать один ТП, а не несколько) и его оснащение.

Проектирование на базе УТП возможно с использованием **групповых или типовых процессов-аналогов.**

Использование ГТП предполагает наличие на предприятии **групповой технологии**, системы технологических классификаторов деталей, оборудования, ТП и пр., а также собственно САПР типа "Адрес". Проектирование сводится к нахождению аналога

(по технологическим характеристикам) заданной детали и соответствующего ГТП. При расхождении заданной и комплексной деталей проводится корректировка (часто в режиме диалога) ГТП.

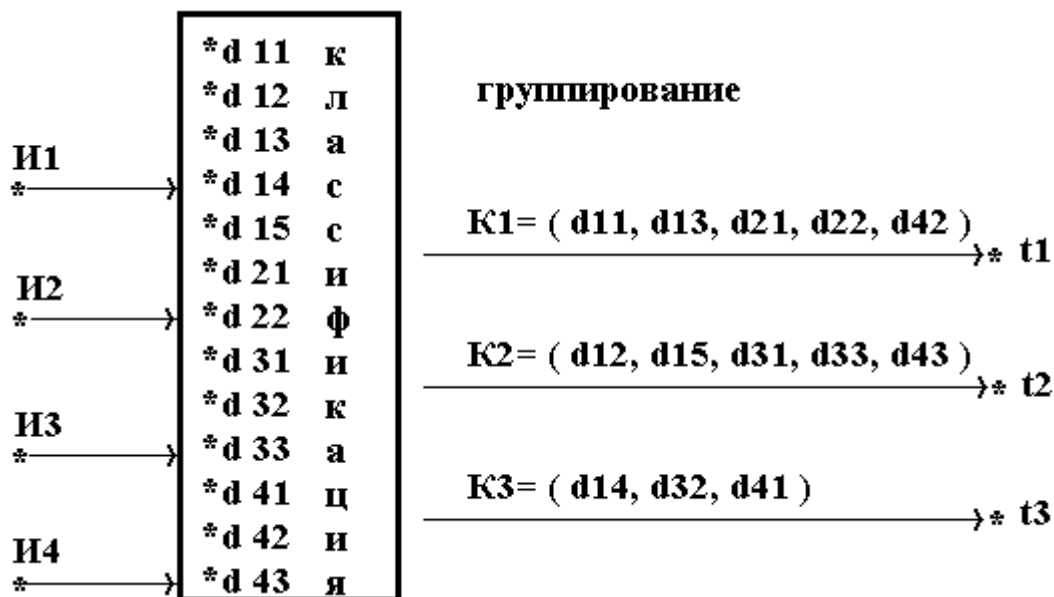


Рис. 20. Проектирование УТП

Использование ТТП предполагает классификацию деталей и их элементов по конструктивным признакам. Соответственно можно выделить следующие уровни использования типовых ТП:

а) **элементарные ТТП**. Разрабатываются на отдельные поверхности или устойчивые сочетания таких поверхностей (зубья, шпоночные пазы и пр.). Любая деталь представляет собой сочетание элементарных поверхностей, поэтому элементарные ТТП служат базой для разработки операционных ТТП, а также используются в синтезе ТП;

б) **операционные ТТП**. Характерны для изготовления деталей родственных групп и сочетаний элементарных поверхностей. На каждую типовую операцию составляется операционная карта, которая используется при разработке маршрутных ТТП. Используются как инструктивные и руководящие материалы, включают прогрессивные на данный момент решения.

К общим недостаткам метода заимствования относится возможность получить не лучший ТП, а лучший из имеющихся в базе данных.

2.1.2. Метод синтеза

Синтез ТП производится на трех уровнях:

1. **Синтез маршрута** – на основе конструкторско-технологического классификатора деталей и основных этапов производственного процесса.

2. **Синтез ТО:**

- а) определяются схемы базирования и установки;
- б) выбираются оборудование и приспособления;
- в) определяется последовательность переходов;
- г) определяются нормы времени на ТО;
- д) рассчитывается себестоимость на ТО;
- е) оформляется технологическая документация.

3. **Синтез переходов:**

- а) расчет припусков и операционных размеров;
- б) выбор режущего инструмента;
- в) выбор вспомогательного инструмента;
- г) выбор измерительного инструмента;
- д) расчет режимов резания;
- е) расчет основного времени на переходы.

Можно выделить два подхода к синтезу ТП:

1. Синтез **сверху** (нисходящее проектирование), т.е. генерирование вариантов решений от уровня маршрута до уровня переходов.

Как правило, это проектирование с *процессом-прототипом*, причем подобранный прототип не содержит всего состава элементов (операций, переходов), которые нужны для изготовления данной детали. При проектировании прототип перерабатывается с учетом элементарных ТПП.

2. Синтез **снизу** (восходящее проектирование). Проектирование выполняется последовательно, начиная с уровня переходов с выходом на операции и, в конечном итоге, маршрут. Проектирование ведется без прототипа, опираясь на общие закономерности.

сти технологии и эвристики. Широко используются элементарные ТПП. Из-за обязательного многообразия вариантов на каждом этапе необходимы достоверные критерии оценки решений и возможность корректировки предыдущих этапов. Наиболее распространенный режим проектирования – диалоговый.

2.2. Классификация УЧПУ

УЧПУ – устройство, выдающее управляющие воздействия на исполнительные органы станка в соответствии с УП и информацией о состоянии управляемого объекта.

СЧПУ – совокупность взаимосвязанных и взаимодействующих технических и программных средств, обеспечивающих ЧПУ станка.

В общем случае комплекс "Станок с ЧПУ" включает в себя УП, УЧПУ и собственно станок, причем УЧПУ занимает центральное место, формируя оперативные команды управления в реальном масштабе времени.

В соответствии с международной классификацией УЧПУ можно разделить по ряду признаков (рис. 21):

NC – (Numerikal Control) – покадровый ввод УП с перфоленты (системы 3-го поколения со встроенными интерполяторами, расширенным списком технологических команд). Основным недостаток – при обработке каждой заготовки необходимо снова считывать перфоленту (износ УП, сбои при считывании, большое число кадров в УП и т.д.). Сейчас эти станки еще используются, но выпуск их сокращен.



Рис. 21. Классификация УЧПУ

SNC – (Stored Numerical Control) – сохраняют все свойства NC, но имеют большой объем памяти (от 40 до 310 м перфоленты), что позволяет один раз ввести всю УП для партии деталей.

Системы NC и SNC обладают **постоянной структурой**. Примеры: H22, H33, "Размер 2М" и т.д.

Переход к микропроцессорам позволил объединить в УЧПУ функции управления и отдельных задач подготовки УП.

CNC – (Computer Numerical Control) – позволяет изменять в процессе эксплуатации не только УП, но и программу функционирования самой системы. Отдельные процессы обеспечиваются подпрограммами. Есть стандартные подпрограммы. Основа мини- или микроЭВМ. Большие сервисные возможности, легкость коррекции, диагностики станка и инструмента, контроль деталей при обработке и пр. Обширная память, что позволяет иметь архив УП в памяти.

DNC – (Direkt Numerical Control) – управление от центральной ЭВМ (при этом каждое оборудование может сохранять свои УЧПУ разных классов). Пример: система управления автоматизированным участком. Одновременно управляется и вспомогательное оборудование, т.е. вся ГПС. При этом также возможно автоматизированное проектирование УП.

HNC – (Handled Numerical Control) – у нас получили название ОСУ – оперативные системы управления. Позволяют осуществлять ручной ввод УП в память микроЭВМ с пульта. Программа легко набирается, корректируется. Практически отличается от CNC отсутствием фотосчитывающего устройства или других внешних вводных устройств. Программирование в режиме диалога, информация о зонах обработки, режимах и пр. выводится на дисплей (рис. 22).

УЧПУ классов CNC, DNC, HNC относятся к устройствам с **переменной структурой**, обладают возможностями и свойствами вычислительной машины.

VNC – (Voise Numerical Control) – позволяют вводить информацию с голоса, затем она в виде графиков и текста отража-

ется на дисплее, можно осуществлять визуальный контроль и корректировку. Пока не получили широкого распространения, но вполне перспективны.

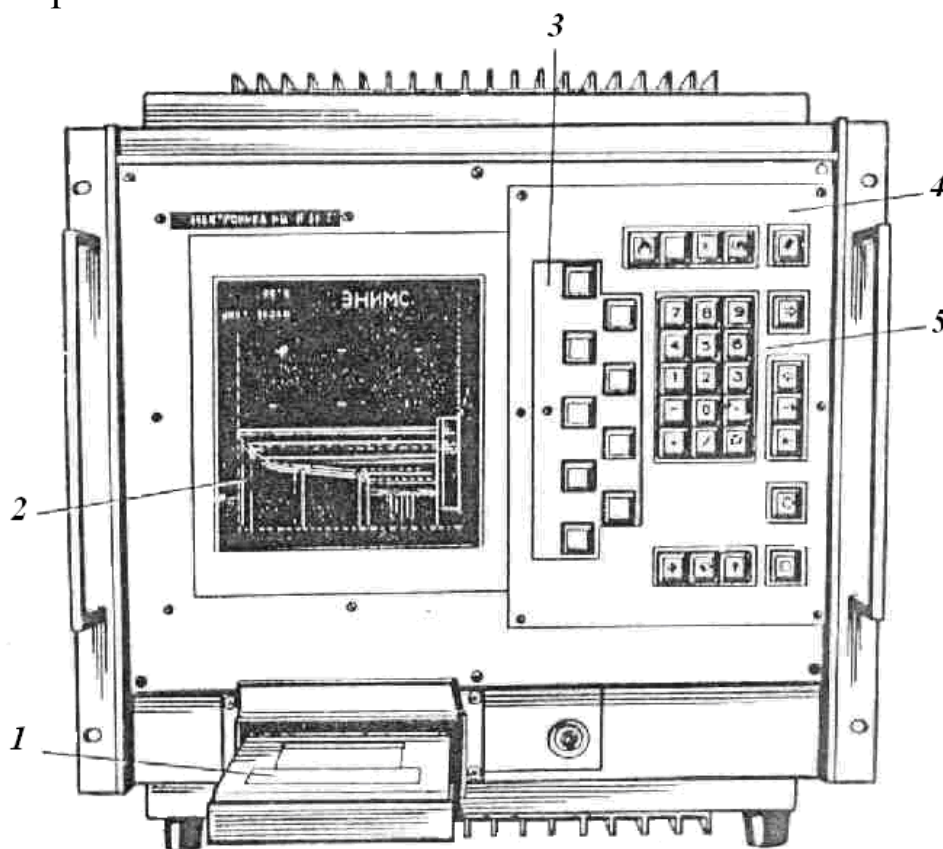


Рис. 22. Общий вид дисплейного блока УЧПУ
"Электроника НЦ80-31":

1 – кассета внешней памяти; 2 – графическое изображение токарной обработки; 3 – кнопка "Меню"; 4 – кнопка режимов; 5 – цифровая клавиатура

Позиционное ЧПУ – ЧПУ, при котором рабочие органы станка перемещаются в заданные точки, причем траектория перемещения не задается.

Контурное ЧПУ – ЧПУ, при котором рабочие органы станка перемещаются по заданной траектории и с заданной скоростью для получения необходимого контура обработки. Обязательна постоянная функциональная зависимость между скоростями перемещения рабочих органов по осям координат.

Комбинированная ЧПУ – включает контурное и позиционное ЧПУ. Используется для многооперационных станков.

Разомкнутое ЧПУ – используется только задающая информация, отсутствует контроль за выполнением заданной программы, нет обратной связи.

Замкнутое ЧПУ – дополнительно используют информацию по обратной связи о фактическом положении рабочих органов, их скоростях, об окончании элементов цикла и пр.

Адаптивное ЧПУ – ЧПУ, при котором обеспечивается автоматическое приспособление процесса обработки заготовки к изменяющимся условиям обработки по определенным критериям.

2.3. Особенности и этапы ТПП для станков с ЧПУ

2.3.1. Особенности

Технологическая подготовка для станков с ЧПУ имеет ряд особенностей, основные из которых:

1. В серийном, мелкосерийном и единичном производствах при проектировании ТП на оборудовании с ручным управлением ограничиваются маршрутным описанием ТП. Для станков с ЧПУ необходимо **разрабатывать операционную технологию** с подробным описанием: схем базирования, видов режущего и вспомогательного инструмента, режимов резания и норм времени. Кроме этого определяются: исходное положение РИ, траектория перемещения РИ с выделением участков подвода и врезания, которые в обычных ТП опускаются.

2. Необходимость **точного расчета траектории** перемещения РИ на всем пути.

3. При использовании станков с ЧПУ появляется принципиально новый элемент ТП – управляющая программа, закодированная и нанесенная на программноноситель. Вследствие этого в состав работ ТПП включаются **разработка и отладка УП**.

По своим технологическим возможностям станки с ЧПУ отличаются от обычных. Поэтому в традиционных этапах проектирования ТП, таких как проектирование маршрутного и операци-

онного ТП, базирование, выбор инструмента, появляется некоторая **специфика**.

2.3.2. Основные этапы ТПП

ТПП в общем случае включает в себя следующие этапы:

1. Определение номенклатуры деталей, рекомендуемых для обработки на станках с ЧПУ с учетом организационно-технологических особенностей и требований технологичности.

2. Технологический контроль чертежей.

3. Проектирование маршрутного ТП, предусматривающее разработку ТУ на операции, выполняемые на станках с ЧПУ.

4. Проектирование операционного ТП, включая разработку схем базирования, выбора схем установки и выверки заготовок, выбора модели станка, формирование состава переходов.

5. Проектирование попередного операционного ТП (с формированием технологических переходов) с выбором РИ, расчетом режимов резания на каждом переходе.

6. Оформление расчетно-технологической карты (РТК).

7. Расчет траектории движения инструмента.

8. Кодирование (тестирование) УП.

9. Запись УП на программноноситель.

10. Контроль УП с помощью специальных средств (прочерчивание траектории перемещения на графопостроителе или графическом дисплее, моделирование на ЭВМ и т.д.).

11. Отработка программы на станке.

Для решения всех перечисленных задач остаются справедливыми и обязательно должны быть использованы общие принципы и закономерности ТМС, ГОСТы, нормали и инструкции. Мы рассмотрим лишь некоторые отличительные **особенности** решения этих задач применительно к станкам с ЧПУ.

2.3.3. Определение номенклатуры деталей для станков с ЧПУ

Подбираемая номенклатура должна обеспечивать **организационно-технологическую устойчивость** рабочих мест: неизменность инструментальной наладки при обработке всей номенклатуры и требуемую загрузку рабочего места. Только в этом случае будет получен эффект от использования станка. С технологической точки зрения данная задача решается на основе групповой технологии.

Особое внимание следует уделять вопросам **производительности**. Для большинства станков с ЧПУ характерна традиционная схема обработки. По своим конструктивно-геометрическим параметрам обрабатываемые детали должны максимально использовать возможности станков. Эти требования можно разделить на **организационно-технические** и **требования по технологичности**.

2.3.3.1. Организационно-технические требования

1. Наиболее эффективны сложные детали с большим количеством поверхностей, контуры которых содержат криволинейные участки, а также элементы прямых и плоскостей, не параллельных координатным осям станка.

2. Целесообразно обрабатывать и простые детали, входящие в кинематические цепи и сопрягаемые с деталями, которые также обрабатываются на станках с ЧПУ. При этом исключаются пригоночные работы при сборке.

3. Конструкция деталей должна допускать применение простейших элементов для закрепления при обработке.

4. Целесообразна обработка деталей, которые на обычных станках потребовали бы специальной оснастки или фасонных РИ.

5. Целесообразен перевод деталей, если при этом уменьшается количество ТО в ТП механической обработки за счет концентрации операций.

6. Трудоемкость ТО на станке, не оборудованном автоматической загрузкой деталей, должна быть не меньше 0,1 часа, чтобы можно было организовать многостаночное обслуживание.

7. Требования по точности обработки деталей должны соответствовать классу точности оборудования.

8. Оптимальный размер партии запуска для станков с ЧПУ – 30–80 шт. при их повторяемости в году 8–10 раз.

2.3.3.2. Технологичность деталей, обрабатываемых на станках с ЧПУ

Может существенно отличаться от требований к детали, обрабатываемой на универсальных станках, например:

1. Для станков с контурной системой ЧПУ детали с криволинейными поверхностями наиболее технологичны, для универсальных нет.

2. Для станков с ЧПУ резьбы с переменным шагом приемлемы, для универсальных нет.

3. Размеры в рабочих чертежах обычно задают, исходя из возможностей их контроля. Для станков с ЧПУ это не обязательно.

Можно сформулировать **следующие требования** по технологичности:

1. Форма и размеры детали должны обеспечивать возможность ее обработки в непрерывном автоматическом цикле.

2. При токарной обработке скругления и галтели желательно заменять фасками с углом 45° . Канавки для выхода инструмента необходимо унифицировать.

3. Необходимо максимально унифицировать диаметры и глубины отверстий. Обязательно указывать глубину посадок в глухих отверстиях.

4. Нарезание резьбы размером меньше М6 нетехнологично.

5. Расточка канавок в отверстиях и внутренняя подрезка торцов нетехнологична.

6. Деталь должна быть симметричной формы и обеспечивать максимальную доступность всех обрабатываемых поверхностей за одну установку на базовую плоскость.

7. Деталь не должна иметь пересекающиеся под углом оси отверстий либо выходящие под углом к поверхности.

8. Сопряжение наружных и внутренних обрабатываемых стенок при фрезерной обработке должно осуществляться одинаковыми радиусами $R_{\text{тип}} = R_{\text{фр}}$, причем для обеспечения жесткости и производительности $R_{\text{тип}} \geq (1/5 \dots 1/6)H$, где H – высота стенки.

9. Сопряжение стенки с полкой должно осуществляться по радиусу r , причем $r < R_{\text{фр}}$. Тогда на концевой фрезе появится торцовая плоскость с $d = 2(R_{\text{фр}} - r)$. Если $R_{\text{фр}} = r$, требуется шаровидная фреза (рис. 23).

Также на рис. 23 приведены и другие примеры отработки на технологичность конструкций деталей для обработки на станках с ЧПУ.

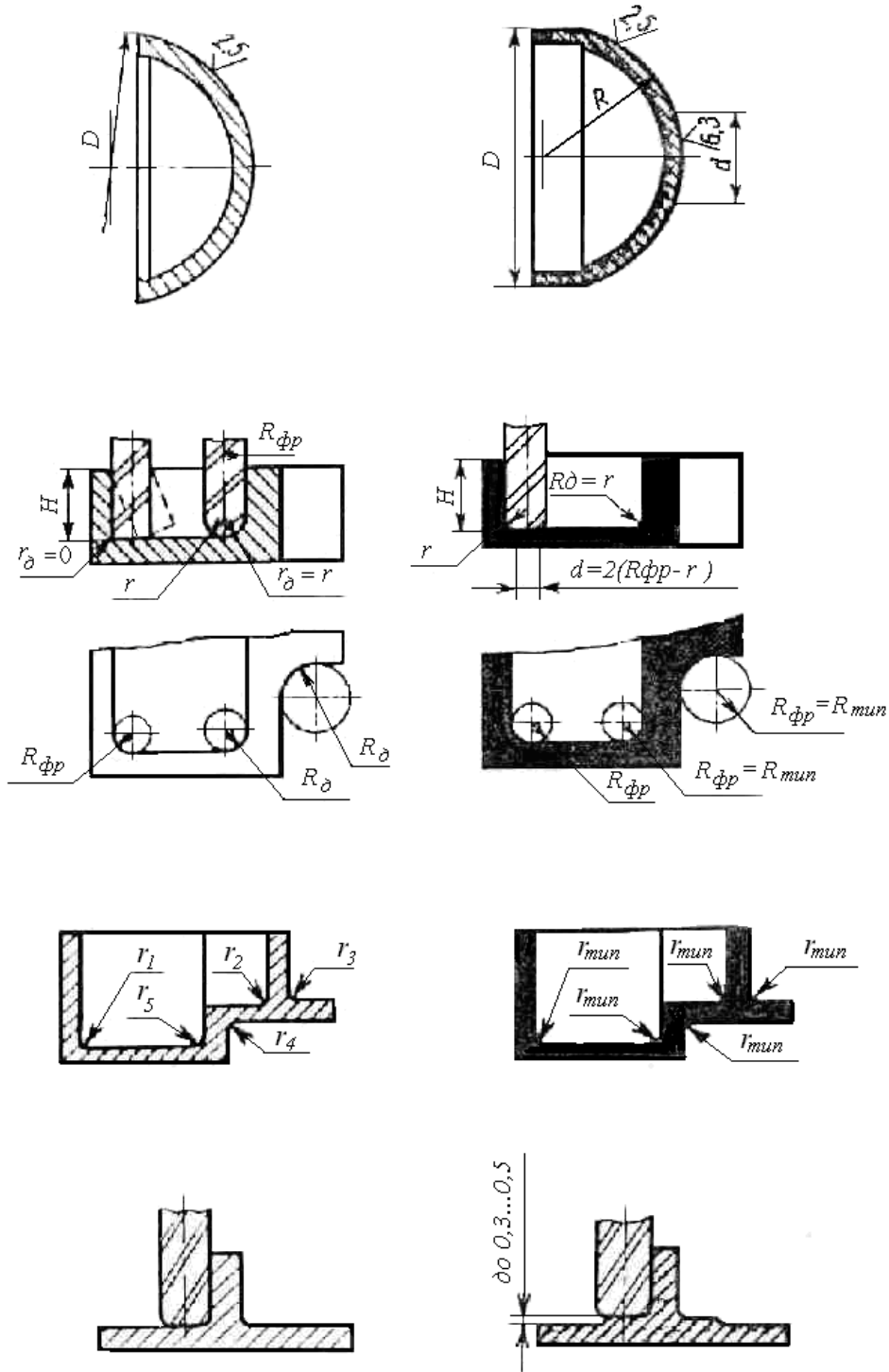


Рис. 23. Примеры отработки на технологичность деталей для обработки на станках с ЧПУ

При **технологическом контроле чертежей** деталей для обработки на станках с ЧПУ появляются дополнительные требования:

1. Простановка всех размеров должна производиться в прямоугольной системе координат от единых конструктивных баз.

2. Желательно проставлять размеры от оси детали к центрам всех окружностей.

3. Проставлять размеры следует так, чтобы данные о каждом контуре были в одной проекции, а размерные цепи имели двухсторонний допуск, что облегчает разработку программ.

4. Чертеж детали должен быть выполнен в одном масштабе по всему полю.

5. На поле чертежа рекомендуется надпись: "Изготавливать на станке с ЧПУ" или "Контур фрезеровать на станке с ЧПУ".

2.3.4. Разработка маршрутного ТП

2.3.4.1. Особенности маршрутного ТП при наличии станка с ЧПУ

Основные работы традиционные, но есть особенности:

1. Появляется возможность устранения разметочных операций, уменьшения числа переустановок деталей, уменьшения объема слесарных (доводочных) работ, сокращаются средний разряд работ, объем контрольных операций. Необходимо полнее использовать принцип концентрации переходов.

2. Обычно маршрут состоит из следующих **этапов**:

а) обработка на универсальных станках (подготовка баз);

б) обработка на станках с ЧПУ;

в) доработка на универсальных станках или слесарная.

3. Тогда появляется обязательный этап при проектировании маршрутного ТП, соответственно дополнительная технологическая документация (ТД) – определение и согласование условий поставки заготовок (согласование этапов **а – б**) и деталей (**б – в**).

2.3.4.2. Условия поставки заготовок и деталей

Специфичные документы для ТПП на станках с ЧПУ. Основным содержанием **технических условий (ТУ) на поставку заготовок** являются требования к базовым размерам и поверхностям. Наиболее точным для фрезерных станков считается базирование на чистые поверхности и технологические отверстия. В ТУ включаются требования на коробление базовой плоскости, допуска на диаметр базовых отверстий и межцентровое расстоя-

ние. Для токарной обработки чистовые базы могут быть получены путем чистовой проточки и отрезки заготовки. Подготовительные операции выполняются на универсальных станках. ТУ оформляются на специальных бланках и согласовываются с участком-поставщиком заготовок и участком-изготовителем деталей на станках с ЧПУ.

Условия поставки деталей являются документом, разграничивающим ТП обработки на станках с ЧПУ и последующей доработкой. Основное содержание документа – перечень обрабатываемых на станках с ЧПУ поверхностей с указанием фактически выполняемых размеров и необходимых доработок, определяющих последующие операции слесарной доработки (что вообще не желательно) или на универсальном оборудовании.

2.3.5. Разработка операционного ТП

Структура операции обработки детали на станке с ЧПУ несколько отличается от классической. Известно, что наиболее мелкой составляющей частью технологического процесса является **переход**, который характеризуется единством обрабатываемой поверхности, режущего инструмента и режимов резания. Режимы резания при выполнении перехода на станках с ЧПУ могут изменяться из-за неравномерности припуска или особенностей форм обрабатываемых поверхностей, поэтому есть основание не включать неизменность режимов резания в число параметров, определяющих переход.

Переходы на станках с ЧПУ подразделяют на элементарные, инструментальные, позиционные и вспомогательные.

Элементарный переход – непрерывный процесс обработки одной элементарной поверхности одним инструментом по заданной программе.

Из элементарных переходов образуется **инструментальный переход**, представляющий собой законченный процесс обработки одной или нескольких поверхностей одним инструментом при его непрерывном движении по заданной программе.

Вспомогательный переход – часть траектории движения инструмента, не связанная с образованием поверхности (врезание, выход, холостые ходы). В отличие от станков с ручным управлением вспомогательное время включает время на установку и снятие заготовки ($t_{в.у}$) и машинно-вспомогательное время ($t_{м-в}$), связанное с выполнением вспомогательных ходов и перемещений при обработке поверхностей.

Позиционный переход – совокупность инструментальных и вспомогательных переходов, выполняемых при неизменности позиции или положения обрабатываемой детали относительно рабочих органов станка.

Из совокупности переходов складывается операция. **Операцией** механической обработки детали на станке с ЧПУ называется часть технологического процесса, выполняемая над определенной деталью непрерывно на одном рабочем месте по заданной программе и при одной настройке станка.

Понятие "операция на станке с ЧПУ" ограничено условием "при постоянной настройке станка".

Операция может разбиваться на установки. **Установом** называется часть технологической операции, выполняемая при неизменном закреплении детали.

Операция механической обработки детали на станке с ЧПУ включает также ряд других приемов: измерение детали, смена инструмента, пуск станка и т.д.

2.3.5.1. Выделение зон обработки

Зона обработки – часть припуска на том или ином элементе детали. Введение зон обработки позволяет использовать типовые схемы переходов, определяющих траекторию инструмента, что существенно облегчает разработку УП.

Для каждой зоны определяются вид обработки, последовательность обработки внутри зоны и соответствующий РИ. Последовательность обработки зон определяется конструкцией детали, при этом рекомендуется выполнять следующие требования: Обеспечение **максимальной жесткости детали** при обработке. Так, обработку корпусной детали с ребрами следует начинать с фрезерования торцов ребер до обработки контура дета-

ли, так как при этом ребра будут более жесткими. Далее целесообразно обработать внешний контур, а потом внутренний – окна, колодцы. Внутренний контур следует обрабатывать от центра к периферии.

При токарной обработке следует начинать обработку с более жесткой части (большого диаметра) и заканчивать зоной малой жесткости.

2. Снятие на первых переходах **основной части припуска**, обхода всего контура – для своевременного перераспределения внутренних напряжений.

Конкретные конструктивные зоны и соответствующие типовые зоны обработки будут рассмотрены далее.

2.3.5.2. Базирование деталей и приспособлений

Для станков с ЧПУ крайне необходимо обеспечить точное положение (линейное и угловое) систем координат детали и станка. Часто встречающаяся в обычном производстве операция разметки должна быть удалена. Значит, необходимо **полное** (по всем шести точкам) **базирование** детали в приспособлении и приспособления на столе станка.

Для **деталей** используют типовые схемы базирования. Соблюдают **принципы единства** (совпадение технологической и конструкторской баз) и **постоянства** (максимальная концентрация обработки от одного комплекта баз) баз. Это накладывает дополнительные требования на приспособления (обеспечение инструментальной доступности). Но и конструкция детали должна предусматривать эту возможность. Например, для обработки корпусной детали с 4-5 сторон наиболее удобна схема базирования по плоскости и двум отверстиям. Этот комплект баз надо подготовить на 1-й операции, причем в качестве отверстий часто приходится использовать искусственные базы.

Для **приспособлений** в зависимости от конструкции стола станка используют три основные схемы базирования:

- а) по двум взаимно перпендикулярным точным пазам и комплекту шпонок;
- б) по центральному отверстию в столе станка;

в) в "координатный угол" расстановкой упоров и зажимов на столе станка. Последняя точка в этом случае может реализовываться упором, шпонкой и пр.

Для станков с ЧПУ целесообразно использовать переналаживаемые системы приспособлений УСП-М, УСПО, СРП, конструкции плит которых позволяют реализовать любую из этих схем [7]. Схема **б** наиболее удобна для поворотных столов и обработки с нескольких сторон за один установ, так как нет необходимости в дополнительной коррекции.

Для станков с ЧПУ (особенно в составе ГПМ или ГПС) при обработке сложных деталей характерно использование **спутников**, на рабочей плите которых собрана наладка приспособления и закрепляется деталь. Установка спутников на столах станков осуществляется автоматически, и обычно используется схема базирования спутника: плоскость и два отверстия.

2.3.5.3. Выбор исходных точек (ИТ)

Траектория движения РИ начинается в ИТ. Если обработка ведется одним инструментом, то ИТ является и конечной точкой траектории (замкнутая траектория).

При обработке несколькими РИ возможны два случая:

а) **единая ИТ**, траектории всех РИ замкнуты. При этом несколько больше холостые хода. Необходимо назначать ИТ в середине контура (для ручной смены инструмента может быть неудобно или опасно);

б) у каждого инструмента **своя ИТ**, траектории предыдущих незамкнуты. Замкнута только общая траектория.

При выборе положения ИТ надо учитывать требования ТБ:

1) при повороте заготовки не должно быть касания об РИ, находящейся в это время в ИТ;

2) ИТ должна быть удалена на безопасное расстояние от мест зажима, чтобы не поранить руку (длина гаечного ключа + ладонь).

2.3.5.4. Выбор режущего инструмента

Токарная обработка.

В целях типизации технологии все многообразие поверхностей обработки делят на "**основные**" и "**вспомогательные**".

К **основным поверхностям** относят такие, которые могут быть обработаны резцами с $\varphi = 95^\circ$, $\varphi_1 = 30^\circ$, проходными при обработке наружных и торцовых поверхностей и расточными для внутренних. К основным поверхностям относят: цилиндрические и конические, поверхности с радиусными криволинейными образующими, поверхности неглубоких (до 1,5 мм) канавок и пр. Инструмент для основных поверхностей: черновые и чистовые (контурные) проходные резцы с углами $\varphi = 93 - 95^\circ$, $\varphi_1 = 5^\circ$ – для черновых и $\varphi_1 > 30^\circ$ – для контурных. Все резцы в правом и левом исполнениях. Для отверстий необходимы сверла центровочные и спиральные, черновые и чистовые расточные резцы (подробнее позже).

К **вспомогательным поверхностям** относятся остальные, требующие дополнительного инструмента. Таких поверхностей более 40 (рис. 24): различные канавки на наружных, внутренних и торцовых поверхностях; резьба; желоба под ремни и пр. При использовании специальных схем обработки (рис. 25) можно обойтись небольшим количеством РИ (рис. 26): прорезные, резьбовые, отрезные.

Основные РИ, резьбовые целесообразно применять сборными с неперетачиваемыми твердосплавными пластинками. Для обработки небольших поверхностей можно с напайными твердосплавными пластинками или даже из быстрорежущей стали.

Фрезерная обработка.

Основной инструмент – калиброванные по наружному диаметру праворежущие и леворежущие концевые и торцовые фрезы. Иногда к ним предъявляются **особые требования**:

1) обеспечение усиленного вывода стружки при обработке глубоких колодцев. Достигается увеличением угла наклона спирали фрезы;

2) обеспечение прижима силой резания деталей (например, тонких и плоских) к столу. Применяют праворежущую фрезу с левой спиралью или наоборот;

3) снижение вибрации инструмента. Несимметричное расположение зубьев фрезы;

4) вертикальное врезание в металл. Специальная заточка торца.

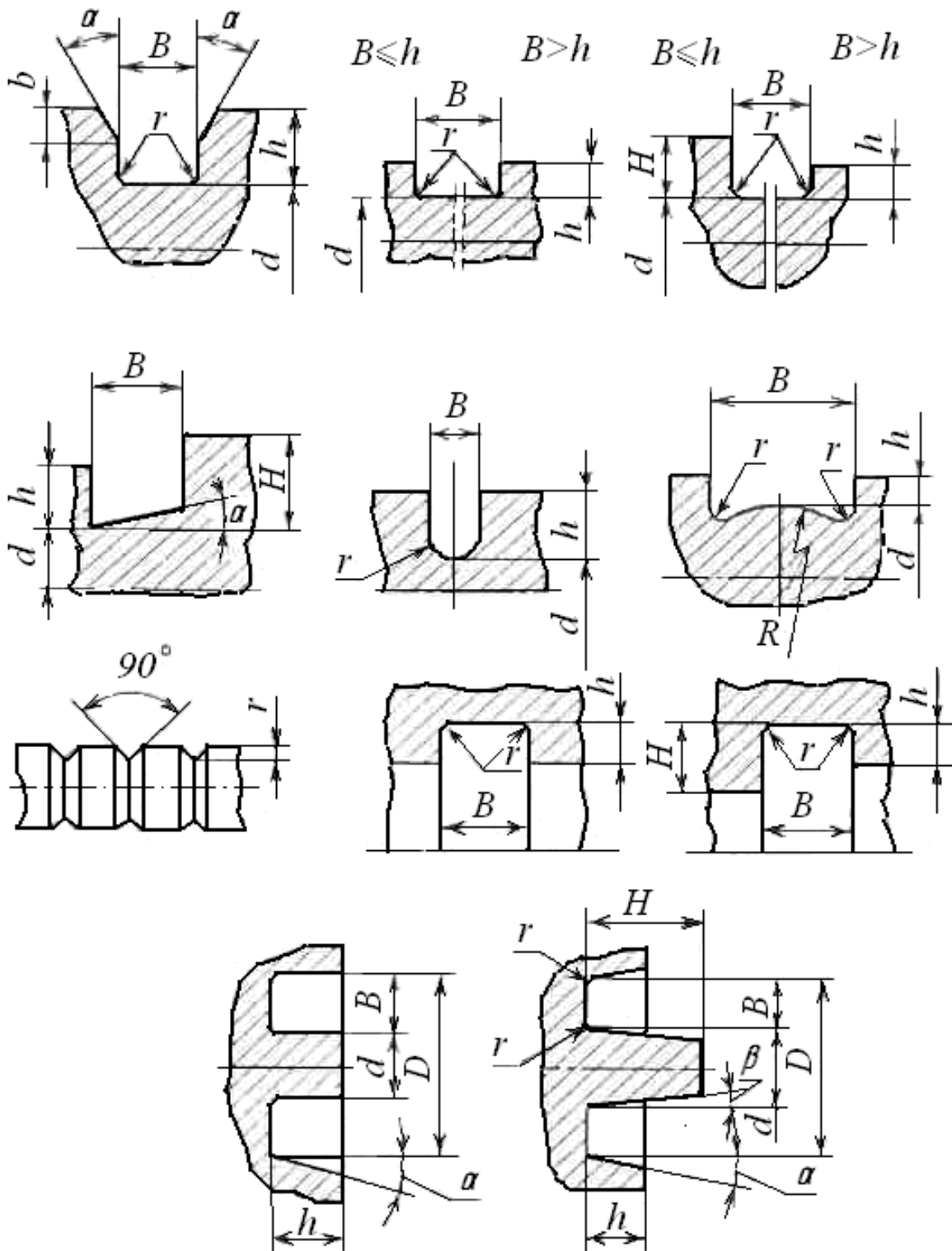


Рис. 24. Формы вспомогательных поверхностей

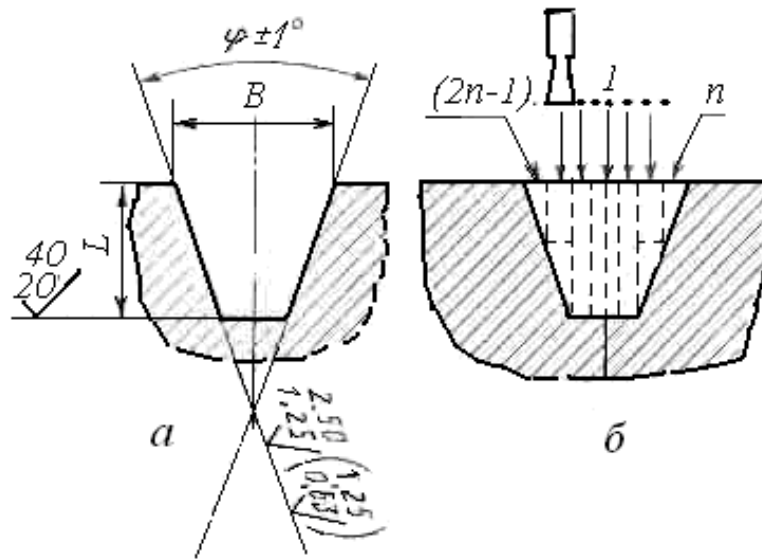


Рис. 25. Схемы перемещения инструмента при обработке канавки шкива канавочным резцом: *a* – форма канавки; *б* – перемещение резца

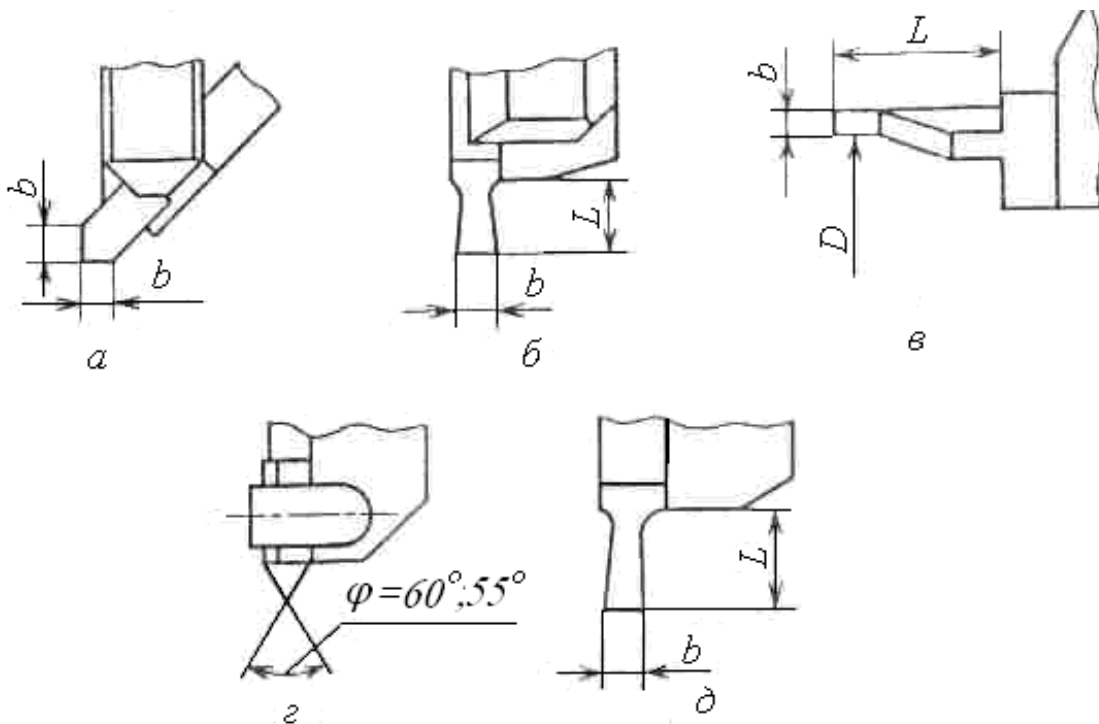


Рис. 26. Формы резцов для обработки дополнительных поверхностей: *a* – резец канавочный угловой; *б* – канавочный; *в* – канавочный для торцовых выборок; *г* – резьбовой; *д* – отрезной

Диаметр D концевой фрезы выбирают по номинальному размеру наименьшего типового радиуса сопряжения элементов контура детали. Проверка:

$$H < 2,5D,$$

где H – максимальная высота стенки.

При обработке глубоких колодцев необходимо:

$$D < 0,75D_0,$$

где D_0 – диаметр вписанной в колодец окружности.

2.3.6. Проектирование переходов

Формирование технологических переходов **включает**:

- а) определение **состава переходов** (на основе выбранных РИ и обрабатываемых поверхностей);
- б) построение **траектории** движения РИ на каждом переходе;
- в) расчет **режимов резания**.

Самой трудоемкой работой является пункт **б**. Необходима тщательная проработка всех элементов траектории: рабочих, холостых, вспомогательных.

Покажем основные способы получения рабочих и вспомогательных ходов на примере фрезерной обработки.

2.3.6.1. Траектория рабочих перемещений

Технологические переходы подразделяются на **черновые** (снятие основного металла, обеспечение равномерного припуска для чистовой обработки) и **чистовые** (получение требуемого контура). Для повышения концентрации обработки на станках с ЧПУ они часто могут быть объединены в одной операции.

При проектировании **черновых переходов** требуется максимальная производительность, ограниченная прочностью инструмента. Чтобы упростить задачу, следует использовать нормализованные траектории:

1. **Спираль Архимеда** с проходами, эквидистантными к контуру обрабатываемой поверхности (от центра к периферии или наоборот, рис. 27, *а*). Обеспечиваются равномерный съем металла при неизменном способе фрезерования (встречном или

попутном) по всей длине, малая шероховатость, равномерное уменьшение жесткости. Недостаток: пригодна только для обработки гладких скругленных поверхностей.

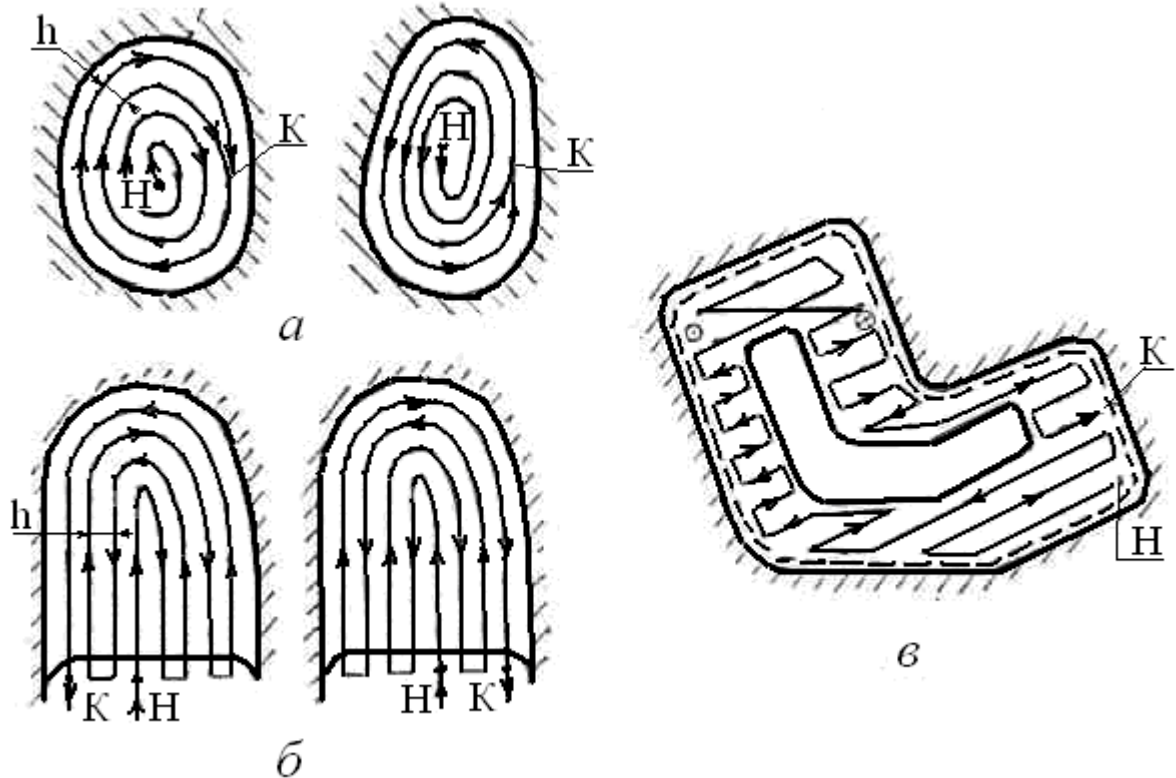


Рис. 27. Нормализованные траектории рабочих ходов:
а – спираль Архимеда; *б* – ленточная спираль; *в* – строка

2. **Ленточная спираль** с эквидистантными проходами (рис. 27, б) сохраняет преимущества спирали Архимеда, но способ фрезерования на каждом проходе меняется на противоположный.

3. **"Строка"** – ленточная спираль с проходами, неэквидистантными контуру (рис. 27, в). Целесообразна, если требуется повышение надежности работы линейного интерполятора, т.е. сокращение числа кадров. Для кругового интерполятора более надежной может оказаться спираль Архимеда.

При "строке" образуются гребешки, требуется дополнительный черновой проход вдоль контура детали (пунктирная линия).

В той или иной степени указанные траектории используют и для чистовых переходов.

2.3.6.2. Траектории вспомогательных ходов

Вспомогательные хода появляются при врезании, выходе инструмента, резком изменении направления обрабатываемого контура.

Во **внешний** контур рекомендуется врезаться по касательной к обрабатываемой поверхности (рис. 28, *а*).

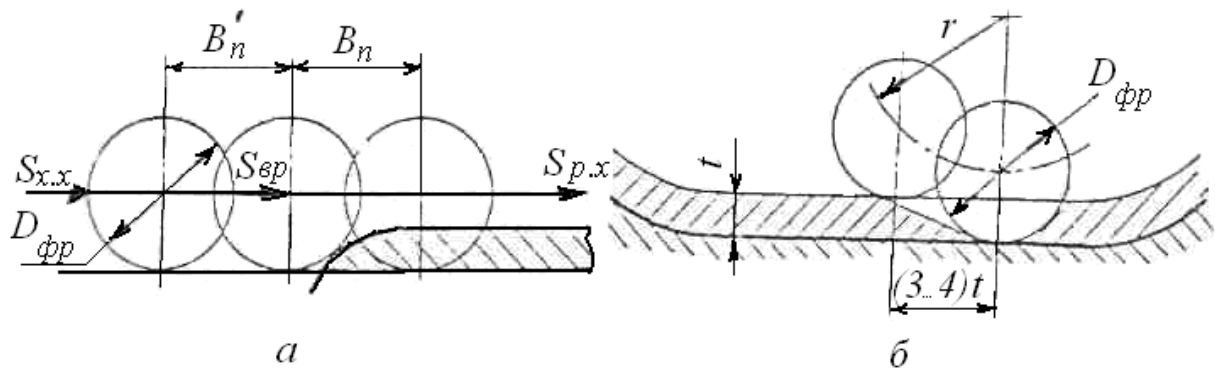


Рис. 28. Схемы фрезерования для наружного контура (*а*); внутреннего контура (*б*)

Здесь B'_n представляет путь, на котором скорость холостого хода $S_{x.x}$ снижается до скорости врезания $S_{вр}$. На участке B_n происходит врезание с дальнейшим снижением подачи до рабочей $S_{р.х}$.

Врезание в припуск **внутренних** поверхностей происходит по криволинейной траектории (рис. 28, *б*), при которой путь врезания примерно равен $(3...4)t$.

При обводе контура деталей могут встретиться прямые и острые углы, когда скорость замедляется, достигая нулевых значений (рис. 29, *а*, точка *А*), а затем начинает резко возрастать. При этом неизбежно возникновение подрезов. Поэтому для получения прямых (или острых) углов необходимо предусматривать петлеобразную (рис. 29, *б*) или дугообразную (рис. 29, *в*) траекторию.

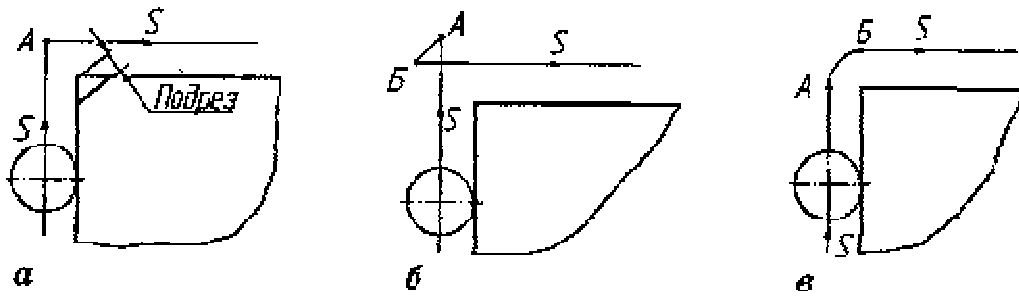


Рис. 29. Траектории инструмента при обходе прямого угла

2.3.7. Расчетно-технологическая карта (РТК)

Итогом разработки операционной технологии является РТК, которая должна содержать достаточно графической и текстово-расчетной информации, чтобы, не обращаясь к чертежу детали, можно было составить УП. Рекомендуется такая **последовательность** построения РТК:

1. Вычерчивается деталь в прямоугольной системе координат. Выбирается исходная точка O (при многоинструментальной обработке ИТ могут быть выбраны для каждого инструмента). Контур детали, подлежащий обработке, и контур заготовки вычерчиваются в масштабе с указанием всех размеров, необходимых при программировании.

2. Намечается расположение зажимных и базирующих элементов.

3. Наносится траектория движения инструмента в двух плоскостях системы координат: XY , XZ . При многоинструментальной обработке следует изображать траекторию каждого РИ. Если точка O не совпадает с началом координат детали (точка W), то необходимо связать их размерами.

4. На траектории отмечаются и обозначаются цифрами **опорные** точки и ставится стрелками направление движения. Опорные точки необходимо намечать по геометрическим и технологическим признакам (меняется геометрический характер траектории, меняются режимы движения и пр.).

5. При необходимости указываются места **контрольных** точек, в которых предусматривается кратковременная (указывается в секундах) остановка обработки для проверки точности от-

работки УП (например, перед окончательными чистовыми проходами). Указываются также точки смены инструмента, изменения вращения шпинделя, перезакрепления детали и пр.

6. На РТК наносятся дополнительные данные: тип станка, номер и название операции, таблицы с координатами опорных точек и режимами обработки, сведения о режущем и вспомогательном инструменте.

Правила построения траектории центра РИ на РТК:

а) подводить и отводить РИ к обрабатываемой поверхности следует по вспомогательным траекториям;

б) недопустима остановка РИ или резкая смена подачи при контакте РИ с поверхностью детали, необходимо отвести РИ;

в) длины холостых ходов должны быть минимальны;

г) для устранения влияния люфтов станка желательно предусмотреть дополнительные петлеобразные переходы в местах реверса;

д) при необходимости по расчетной силе резания следует определить возможность деформации детали (инструмента) и ввести требуемое предыскажение траектории;

е) отдельные участки траектории (рабочие, холостые) можно выделять цветом либо использовать условные обозначения.

Пример построения траектории перемещения фрезы приведен на рис. 30.

2.3.8. Расчет траектории инструмента

Расчет траектории состоит прежде всего в определении координат опорных точек на контуре детали и (при необходимости) на эквидистанте. Траектория рассчитывается для центра РИ. Одновременно уточняются режимы резания на отдельных участках траектории.

2.3.8.1. Расчет координат опорных точек на контуре

Используют заданные на чертеже детали размеры и данные РТК. Координаты опорных точек контура вычисляются с помощью уравнений, описывающих геометрические элементы контура и соотношения в треугольниках. Точность вычислений опре-

деляется дискретностью задания перемещений (зависит от УЧПУ и станка). Наиболее часто приходится решать задачи определения координат точек, лежащих на прямых, окружностях и их пересечениях.

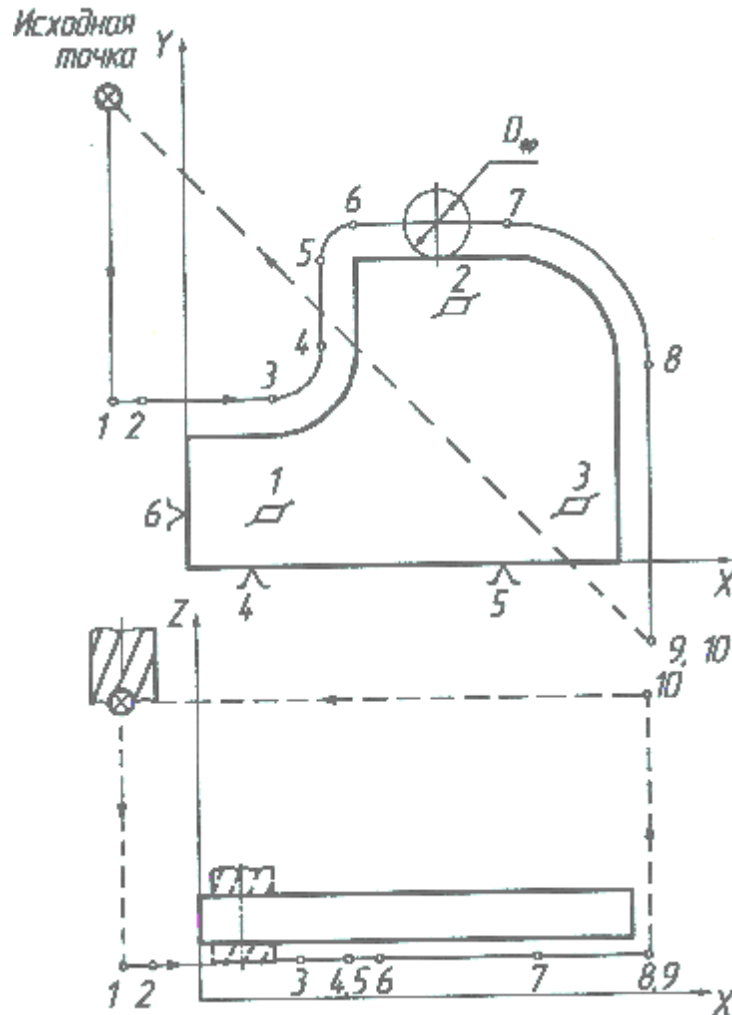


Рис. 30. Пример построения траектории при фрезеровании

2.3.8.2. Расчет координат опорных точек на эквидистанте

Наиболее просто координаты опорной точки на эквидистанте можно найти как приращения координат опорных точек контура, т.е. координаты опорных точек контура необходимо определять в любом случае.

Эквидистанта как геометрическое место точек, равноудаленных от контура детали на расстояние, равное радиусу $R_{и}$ инструмента, строится справа или слева от контура.

Метод соединения элементов эквидистанты определяют в зависимости от угла α , образованного соседними элементами контура. В табл. 7.2 [2, С. 277] показаны типовые случаи определения опорных точек на эквидистанте. Но при $\alpha > 180^\circ$ необходимы дополнительные построения (вспомогательные перемещения), чтобы избежать "зарезов" из-за изменения направления и сил резания.

Расчеты достаточно трудоемкие, поэтому используют ЭВМ.

2.4. Выбор режимов резания для станков с ЧПУ

Для станков с ЧПУ применяется обычный порядок расчета:

1. Глубина резания t .
2. Подача S .
3. Экономическая стойкость T_Σ .
4. Скорость резания v .

Однако процесс резания на станках с ЧПУ существенно отличается от данного процесса на станках с ручным управлением. Это обусловлено изменением ряда геометрических и физических параметров процесса.

При обработке криволинейного участка детали на станке с ЧПУ резец перемещается по криволинейной траектории. Подача непрерывно изменяет свое направление, главный угол в плане ϕ уменьшается, а вспомогательный – увеличивается (рис. 31). При уменьшении угла ϕ ширина среза возрастает, а толщина уменьшается, хотя номинальная площадь среза (на рисунке заштрихована) остается постоянной, равной $f = St = ab$.

Поскольку влияние величин a и b на главную составляющую силы резания описывается зависимостью $P_z = C_{P_z} a^{0,75} b$, при перемещении резца по криволинейной траектории наблюдается изменение уровня сил резания.

Изменение углов в плане влияет на шероховатость обработанной поверхности. Изменение высоты микронеровностей на криволинейном профиле наблюдается при обработке острозаточенным резцом и при участии в работе одновременно прямоли-

нейной и радиусной режущих кромок. При резании только радиусной кромкой шероховатость остается практически неизменной.

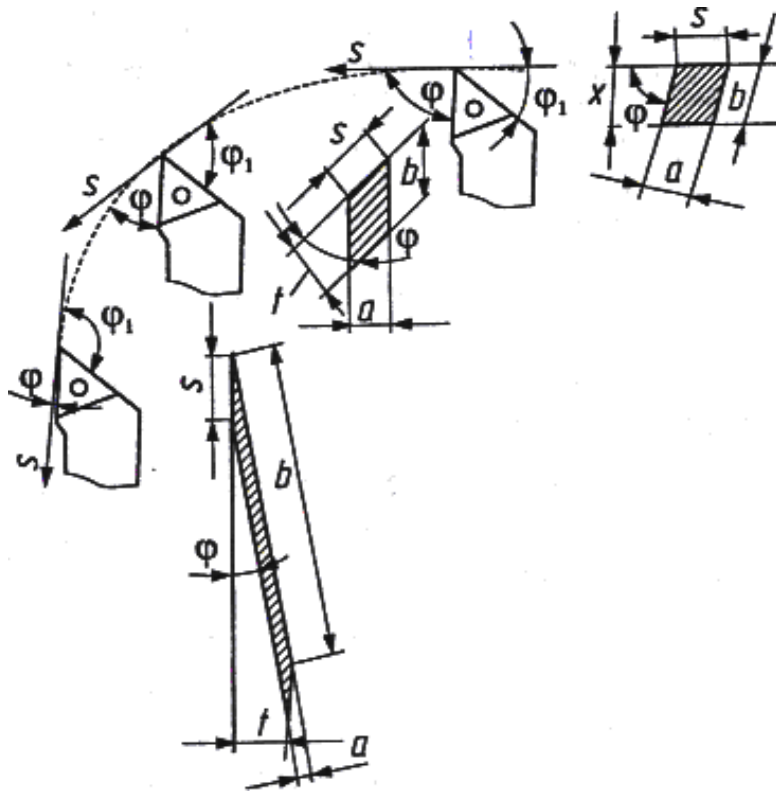


Рис. 31. Углы в плане и сечения среза при обработке криволинейного участка детали

Изменение углов в плане оказывает влияние на направление схода стружки, которое перпендикулярно к диагонали сечения среза. Угол схода стружки ρ зависит от углов φ и φ_1 и отношения b/a . При больших значениях отношения b/a стружка сходит примерно перпендикулярно к главной режущей кромке, а при малых значениях – примерно перпендикулярно к вспомогательной режущей кромке. От угла схода стружки зависит действительный передний угол резца, а также соотношение составляющих сил резания P_x и P_y . Обработка деталей на станках с ЧПУ часто осуществляется с переменными режимами резания (скоростью v или подачей S) и с изменением по мере необходимости глубины резания. Вследствие этого изменяются мгновенные значения ширины и толщины среза, а также кинематические углы резца ($\gamma_k, \alpha_k, \varphi_k$),

что не может не сказаться на уровне целого ряда параметров процесса резания.

При обработке с переменной скоростью резания на 15...20 % возрастает уровень сил резания, появляются различия в значениях температуры резания, несколько ниже период стойкости инструмента. При обработке с переменной подачей наблюдается обратная картина: уменьшение уровня сил резания, температуры, высоты микронеровностей и повышение периода стойкости инструмента.

Таким образом, резание на станках с ЧПУ имеет ярко выраженный нестационарный характер, поэтому необходимо предъявлять более жесткие требования к назначению элементов режима резания, выбору геометрии инструмента и формы пластины. В целом режимы резания для станков с ЧПУ находятся в близком соответствии с действующими нормативами [4]. Однако автоматический процесс обработки предъявляет определенные требования к стойкости инструмента. Рекомендуется сопоставлять стойкость и длительность выполнения переходов для одной или нескольких деталей. Необходимо предусматривать 10...15%-й запас стойкости, исключающий потерю инструментом режущей способности в середине обработки.

При токарной обработке на станках с ЧПУ подача на черновых переходах назначается максимально допустимой с учетом **жесткости технологической системы** и удовлетворительного формирования стружки. Скорость резания рассчитывается по соответствующим формулам или выбирается по таблицам с учетом стойкости инструмента. Режимы резания для чистовой обработки назначаются в соответствии с требованиями к шероховатости и точности обработанных поверхностей.

Особенностью большинства эксплуатируемых фрезерных станков является то, что частота вращения инструмента и интенсивность охлаждения устанавливаются для данного цикла обработки заранее. В связи с этим выбранное значение скорости окажется оптимальным не для всех участков детали. В этом случае используемые методы расчета режимов резания предусматривают выделение для каждой операции одного основного участка

обработки, для которого находятся оптимальные режимы резания (частота вращения и минутная подача). Для остальных (вспомогательных) участков определяются неоптимальные, но вполне удовлетворительные значения минутной подачи при уже известной частоте вращения.

Основной технологический участок выбирается с учетом требований повышенной точности обработки, минимальной шероховатости, пониженной жесткости детали и т.д.

При разбивке детали на технологические участки следует учитывать постоянство припуска в пределах участка. Для ширины фрезерования допускается колебание припуска не более 30 %, а для глубины – не более 20 %. При обработке детали на фрезерном станке с ЧПУ, имеющем автоматическое регулирование частоты вращения шпинделя, для каждого участка устанавливаются свои оптимальные режимы резания.

При контурном фрезеровании последний чистовой проход должен выполняться со снятием припуска не более $0,2D_{\text{фр}}$.

2.5. Нормирование операций, выполняемых на станках с ЧПУ

Штучное время обработки одной детали определяется по тем же формулам, что и для станков с ручным управлением:

$$T_{\text{шт}} = t_0 + t_{\text{в}} + t_{\text{обс}} + t_{\text{п}},$$

где t_0 – основное время на операцию, мин; $t_{\text{в}}$ – вспомогательное время, мин; $t_{\text{обс}}$ – время на обслуживание рабочего места, мин; $t_{\text{п}}$ – время на личные потребности рабочего, мин.

Однако для станков с ЧПУ составляющие $T_{\text{шт}}$ имеют особенности. Так, основное время

$$t_0 = \sum_{j=1}^n t_{0j} = \sum_{j=1}^n \frac{Lj}{S_{\text{мин}}},$$

где t_{0j} – основное время на выполнение j -го перехода; L – длина рабочего хода с учетом врезания и перебега инструмента, мм; i – количество проходов; $S_{\text{мин}}$ – минутная подача, мм/мин.

Вспомогательное время включает затраты времени на установку и снятие детали $t_{в.у}$ (определяется так же, как для станков с ручным управлением) и на выполнение вспомогательных перемещений $t_{м-в}$:

$$t_{в} = t_{в.у} + t_{м-в}.$$

Машинно-вспомогательное время $t_{м-в}$ включает время на позиционирование, ускоренное перемещение рабочих органов, подвод и отвод инструментов в зону обработки, смену инструментов и т.д. Оно может быть определено исходя из паспортных данных станка с ЧПУ.

Продолжительность работы станка по управляющей программе ($t_{у.п}$) равна неполному оперативному времени ($t_{оп.н}$):

$$t_{у.п} = t_{оп.н} = t_{о} + t_{м-в}.$$

Время на обслуживание рабочего места $t_{обс}$ помимо обычных составляющих включает время на смену затупившегося инструмента, коррекцию траектории, регулирование и подналадку станка в течение рабочей смены. В общем случае для станков с ЧПУ время на обслуживание рабочего места и личные потребности составляет 8...16 % от основного времени.

При обработке на станках с ЧПУ штучно-калькуляционное время

$$T_{шт-к} = T_{шт} + \frac{T_{п.з}}{n_{п}} = T_{шт} + \frac{T_{п.з} n_{зап}}{N},$$

где $T_{п.з}$ – подготовительно-заключительное время на партию деталей, мин; $n_{п}$ – размер партии деталей, запускаемых в производство; $n_{зап}$ – число запусков в год (в условиях серийного производства $n_{зап}$ равно 4, 6, 12 и 24); N – годовой выпуск деталей, шт.

Подготовительно-заключительное время состоит из времени на получение документации, ввод управляющей программы, привязку инструмента к системам координат, проверку управляющей программы в покадровом режиме и др. Величины составляющих подготовительно-заключительного времени зависят от конструкции станка, системы ЧПУ, способа организации производства, способа ввода управляющей программы (ручной или через компьютер) и ряда других факторов.

Рассчитать все составляющие $T_{п.з}$ часто не удается, и в этом случае используют следующий прием. Из практики известно распределение затрат на составляющие $T_{шт-к}$: время работы станка по управляющей программе – 40 %; $t_{обс} + t_{п}$ – 14,5 %; $T_{п.з}$ – 17 %; планируемые потери – 20 %. Поэтому сначала находят длительность цикла обработки по программе, а затем по приведенным выше данным определяют $T_{п.з}$ и, при необходимости, другие составляющие $T_{шт-к}$.

2.6. *Наладка станков с ЧПУ*

Наладка технологического оборудования (по ГОСТ 3.1109-82) – процесс подготовки его к технологической операции – включает в себя:

- а) наладку режущего инструмента;
- б) установку его в шпиндель станка;
- в) ввод коррекции на размеры инструмента и режимы обработки в УЧПУ;
- г) ориентирование и установку приспособлений и заготовок;
- д) установку УП;
- е) пробную обработку деталей.

Остановимся подробнее на элементах **а**, **в**, **г**.

2.6.1. **Системы координат, существующие на станке при обработке**

Можно выделить три системы координат (рис. 32):

А. Ноль станка – точка с нулевыми значениями положения рабочих органов станка. С этого положения устройство программного управления начинает отсчет передвижений рабочих органов станка. Их перемещение по трем перпендикулярным направлениям представляет собой **координатную систему станка**.

Для всех станков с ЧПУ применяют единую систему обозначений координат, рекомендованную стандартом ISO 841:1974. Координатами обозначают положение оси вращения шпинделя станка или заготовки, а также прямолинейные либо круговые

движения подачи инструмента или заготовки. При этом обозначение осей координат и направление движений в станках устанавливаются так, чтобы программирование операций обработки не зависело от того, перемещается инструмент либо заготовка или нет. За основу принимается перемещение инструмента относительно системы координат неподвижной заготовки.

Стандартная система координат представляет собой правую прямоугольную систему, связанную с заготовкой, оси которой параллельны прямолинейным направляющим станка.

Все прямолинейные перемещения рассматриваются в системе координат X , Y , Z . Круговое движение по отношению к каждой из координатных осей обозначают прописными буквами латинского алфавита: A , B , C (рис. 32, a). Во всех станках ось Z совпадает с осью шпинделя главного движения, т.е. шпинделя, вращающего инструмент (в станках сверлильно-фрезерно-расточной группы) или заготовку (в станках токарной группы).

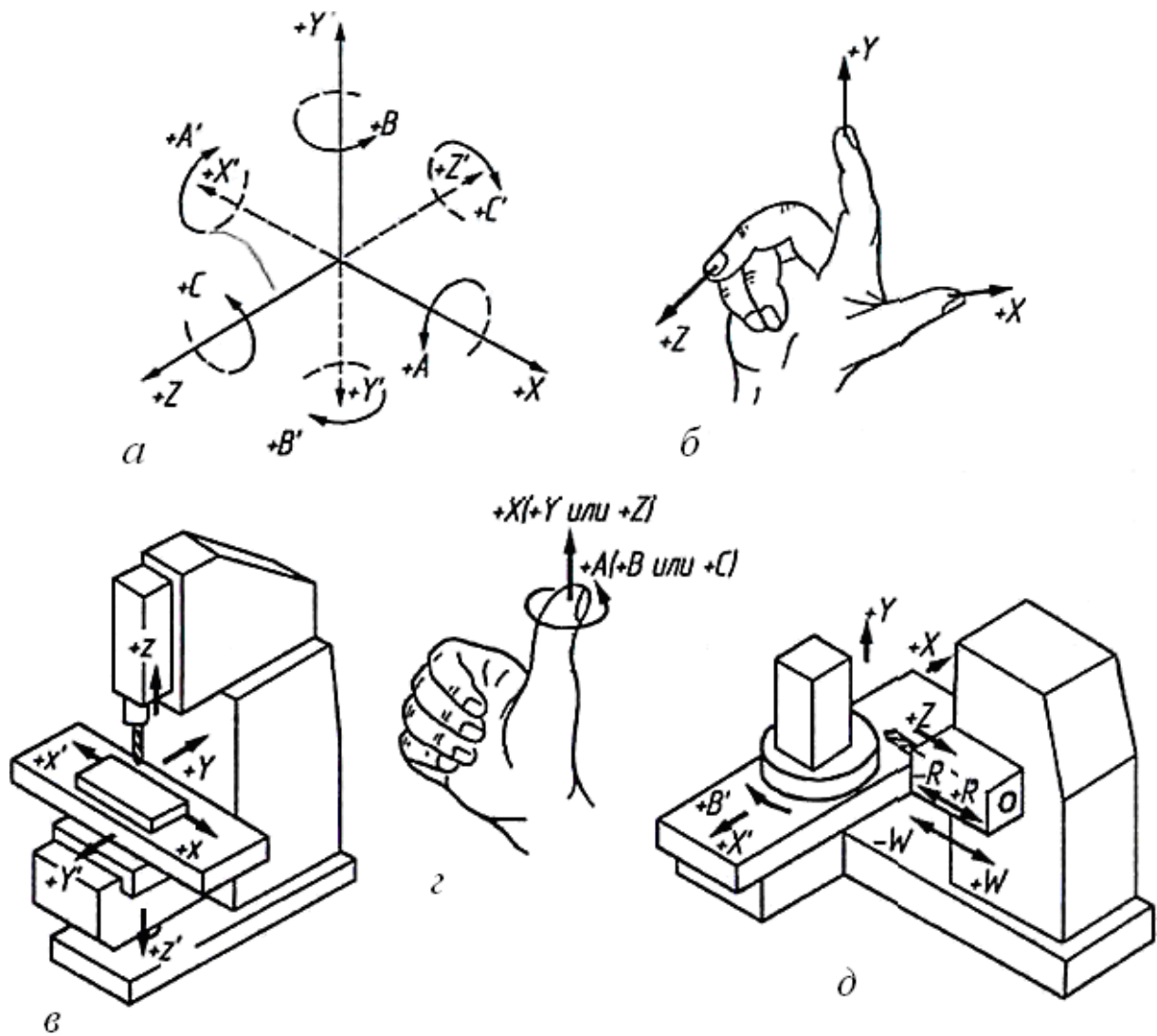


Рис. 32. Системы координат станков с ЧПУ

При наличии нескольких шпинделей (или нескольких положений одного шпинделя) в качестве основного выбирают один из них, предпочтительно перпендикулярный к рабочей поверхности стола, на котором крепится заготовка.

Движение по оси Z в положительном направлении должно соответствовать направлению отвода инструмента от заготовки.

Ось X должна располагаться 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.

На станках с вращающимся инструментом (например, фрезерных, сверлильных) при горизонтальном расположении оси Z положительное перемещение по оси X направлено вправо, если смотреть от основного инструментального шпинделя в сторону изделия. При вертикальном расположении оси Z положительное перемещение по оси X направлено вправо для одностоечных станков, если смотреть от основного инструментального шпинделя на стойку, а для двухстоечных – от основного инструментального шпинделя на левую стойку.

Положительное направление движения по оси Y следует выбирать так, чтобы ось Y вместе с осями Z и X образовывала правую прямоугольную систему координат. Для этого пользуются правилом правой руки: большой палец – ось X , указательный – ось Y , средний – ось Z (рис. 32, б). При определении координатных перемещений станка правую руку мысленно кладут тыльной стороной на обрабатываемую плоскость заготовки так, чтобы полусогнутый средний палец совпал с осью Z инструмента. Тогда большой палец покажет направление оси X , а указательный – Y .

Направления движения рабочих органов, несущих инструмент, обозначаются буквами без штриха, а несущих заготовку – буквами со штрихом (рис. 32, а). При этом положительное направление движения, обозначаемое буквой со штрихом, противоположно направлению соответствующего движения, обозначенного той же буквой без штриха. Так, на рис. 32, в движения инструмента вдоль своей оси в направлении от заготовки обозначены $+Z$, а прямолинейные перемещения

Вращательные движения вокруг осей, параллельных X , Y и Z , обозначаются буквами A , B и C соответственно. Для определения знака кругового перемещения мысленно охватывают правой рукой одну из координатных осей так, чтобы большой палец показывал ее положительное направление (рис. 32, г). Тогда остальные пальцы покажут положительное направление вращения.

Первичные, вторичные и третичные движения рабочих органов станка определяются в зависимости от удаленности этих органов от основного шпинделя. Например, на рис. 32, д движение стойки станка параллельно оси шпинделя обозначено Z , па-

параллельное ему движение пиноли шпинделя – W , а быстрое перемещение шпиндельной бабки – R . Для станков с двумя функционально одинаковыми рабочими органами, управляемыми от двух независимых двухкоординатных устройств ЧПУ (например, для токарных станков с функционально одинаковыми шпинделями и суппортами), оси координат для обоих одинаково работающих органов (например, суппортов) обозначают одинаково: Z и X .

Вторичные вращательные движения, параллельные или не параллельные A , B и C , обозначаются D или E .

Примеры расположения систем координат для различных станков приведены на рис. 33.

Б. Система координат инструмента – по ней настраивается вылет инструмента. На рис. 34 приведены примеры сборки и настройки расточных резцов.

В. Система координат детали (ноль детали) – в ней задаются размеры и относительное положение поверхностей детали, собственно и составляет УП.

Г. Исходная (нулевая) точка обработки – начало программы обработки. От нее начинается программированное движение инструмента. Ее координаты задает технолог в системе координат детали.

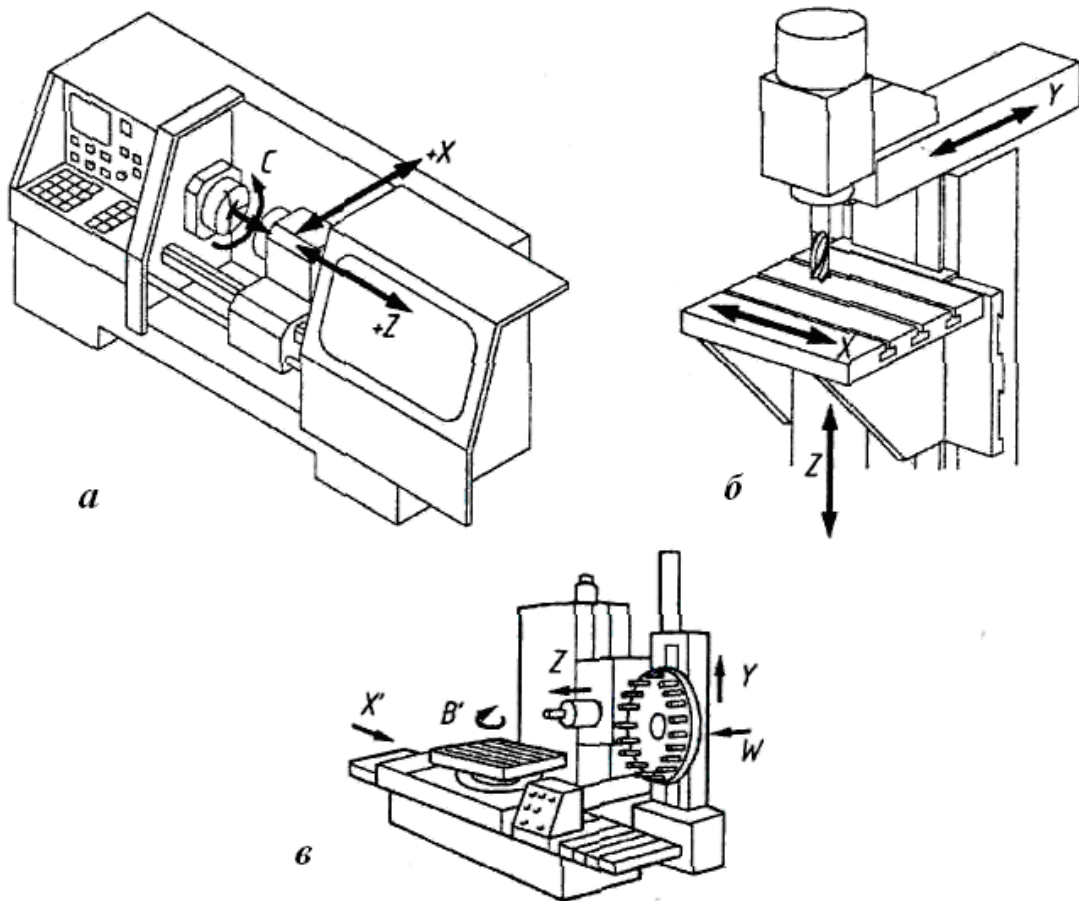


Рис. 33. Направления движения в станках с ЧПУ:
a – токарных; *б* – вертикально-фрезерных; *в* – многоцелевых

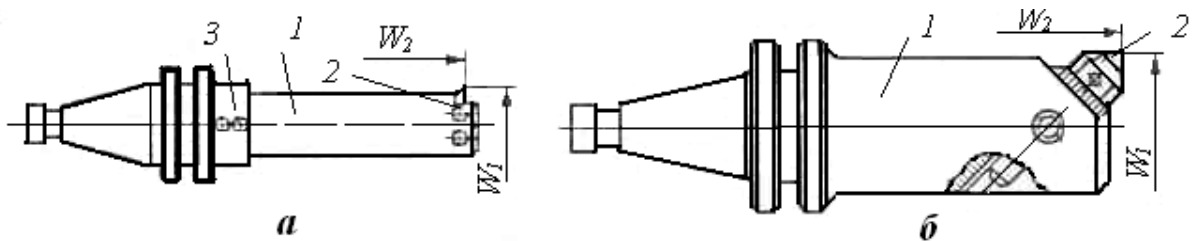


Рис. 34. Схемы сборки и настройки нерасточных (*a*)
 и расточных (*б*) резцов: *1* – оправка; *2* – резец; *3* – винт

2.6.2. Размерные связи между системами координат

Размерные связи между указанными системами (рис. 35) формируются на двух этапах: при технологической подготовке; при настройке станка.

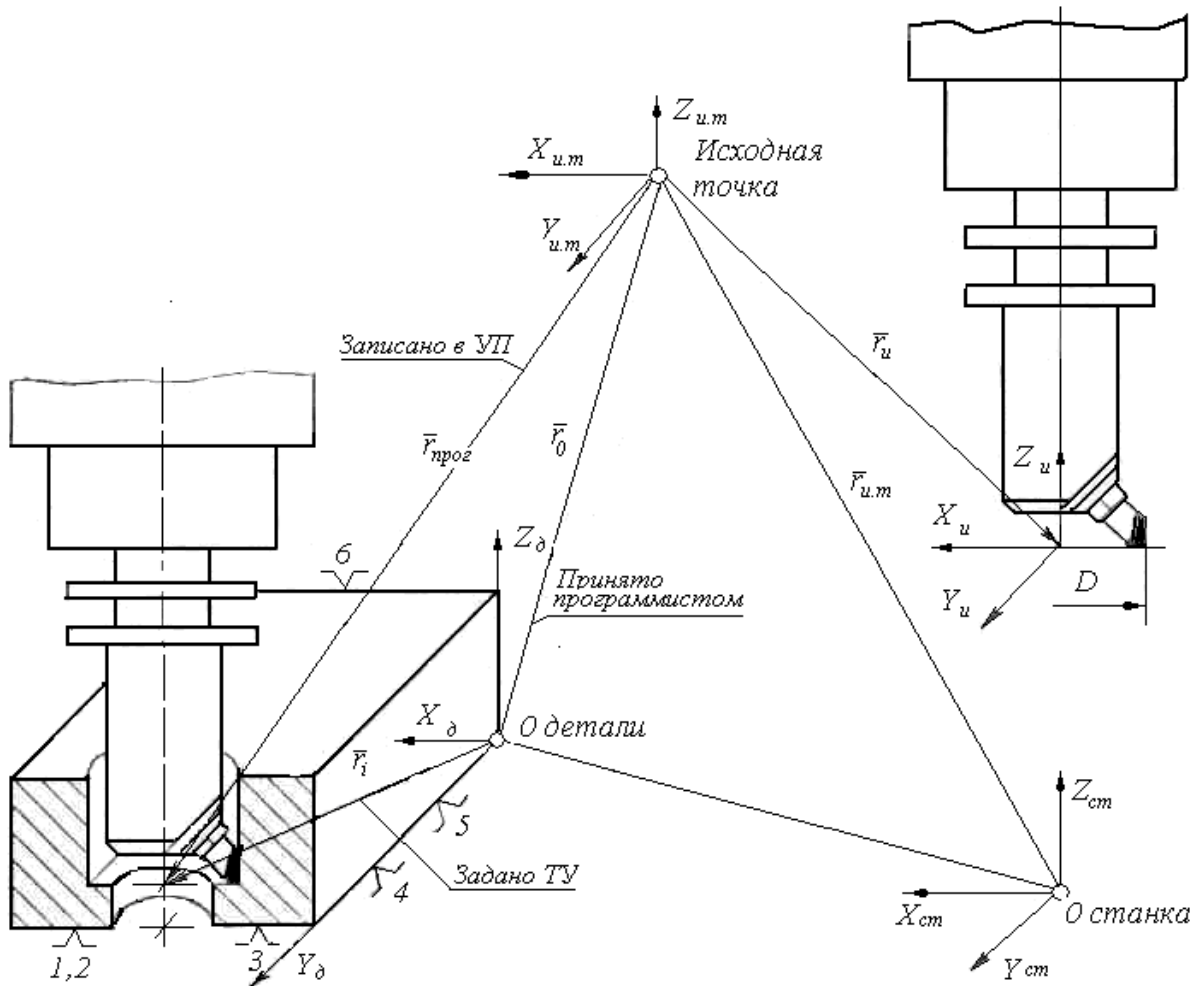


Рис. 35. Схема размерных связей, возникающих при обработке деталей на станках с ЧПУ

На этапе **технологической подготовки** выбирают систему координат детали, проводят пересчет размеров, выбирают ИТ, составляют УП. Положение ИТ задается от базовых элементов приспособления по координатам X и Y . Обычно используются: боковые опорные элементы (для наладки используют контрольную оправку и щуп $S = 0,03$ мм, точность метода $0,04...0,06$ мм); установочный цилиндрический палец (соответственно индикаторный центроискатель, координаты определяются по отсчетно-измерительной системе станка, точность – $0,02...0,03$ мм); специальный установ (гладкий валик + щуп, отсчетно-измерительная система станка, точность – $0,02...0,03$ мм).

На этапе **настройки** станка должны быть установлены размерные связи между его системами координат, ИТ и инструмен-

том. Положение ИТ на этом этапе материализуется, поэтому возможно определение вектора $r_{шт}$.

Настройка по осям X и Y рассмотрена выше. Настройка по оси Z осуществляется практически аналогично. Используют высотный установ, набор мерных плиток, эталон и щуп. Подводят РИ до касания с блоком мерных плиток (через щуп) и по отсчетному устройству определяют искомое смещение ИТ. Для каждого инструмента в УП предусматриваются два корректора, на которых набирается отклонение фактического положения вершины инструмента от определенного в карте настройки.

3. ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА ТИПОВЫХ ДЕТАЛЕЙ

3.1. Отнесение детали к типовой группировке

Несмотря на все многообразие машиностроительных деталей производственный опыт позволяет достаточно точно классифицировать их на несколько основных классов, для каждого из которых существует вполне определенный типовой технологический процесс. Поэтому одним из первых этапов проектирования является отнесение оригинальной детали к одному из классов.

Таких классов пять.

1. **ВАЛЫ** – характеризуются удлиненной формой с соотношением длины (L) к среднему диаметру (D) свыше 2. Это один из самых многочисленных классов. К нему относятся просто валы, валы шлицевые, валы-шестерни, шпиндели, ходовые винты и т.п. (рис. 36).

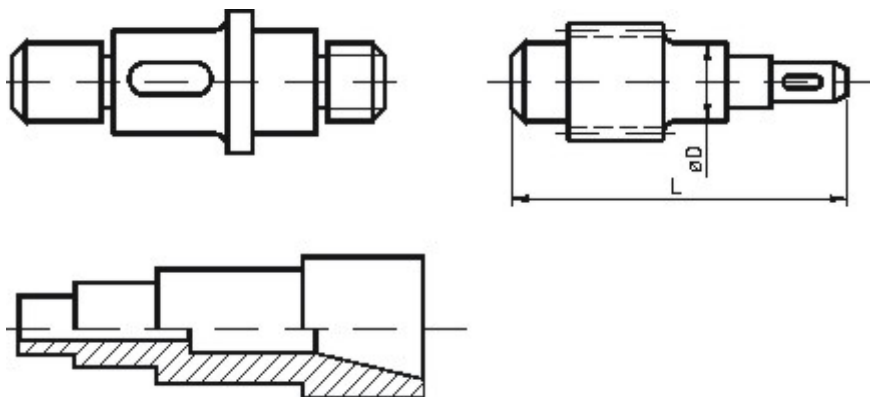


Рис. 36. Представители класса валов

2. **ВТУЛКИ** – характеризуются соотношением длины L к среднему диаметру D в пределах $0,5 < L/D < 2$. Для втулок характерно наличие точных наружных и внутренних поверхностей (отверстий 6...8 квалитета), связанных допусками расположения. К этому классу относятся собственно втулки, многовенцовые зубчатые колеса, цилиндры и т.п. (рис. 37).

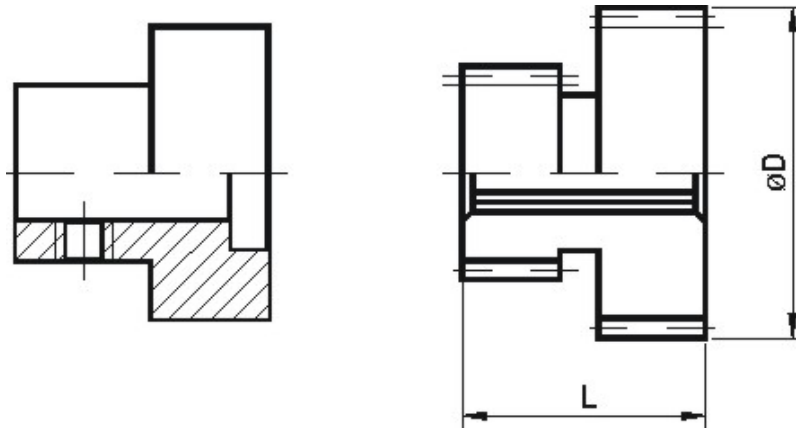


Рис. 37. Представители класса втулок

3. **ДИСКИ** – характеризуются соотношением $L/D < 0,5$ при наличии точного отверстия. К этому классу относятся разнообразные диски, плоские зубчатые колеса, кольца, крышки подшипниковых узлов и т.п. (рис. 38).



Рис. 38. Представители класса дисков

4. **РЫЧАГИ** – не являются телом вращения, характеризуются удлиненной формой (стержнем), соединяющим несколько (две и более) бобышек с точными отверстиями. Наружные поверхности этих деталей обычно не обрабатываются (кроме торцов точных отверстий в бобышках). Конструкции их весьма разнообразны. К ним относятся различные рычаги переключения, тяги, вилки, кронштейны и многие другие детали (рис. 39).

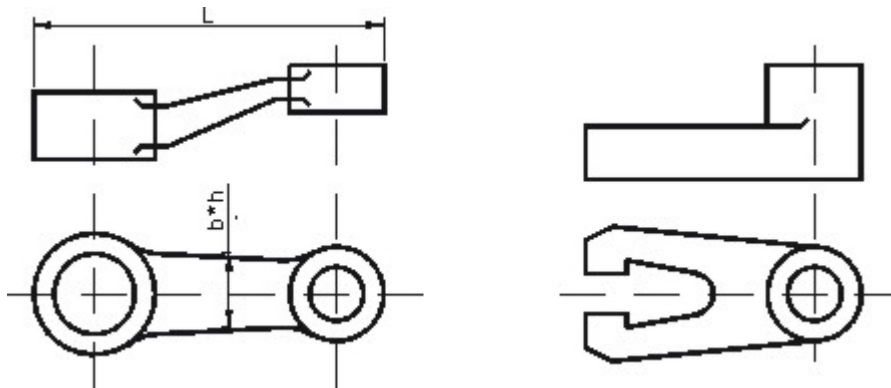


Рис. 39. Представители класса рычагов

5. **КОРПУСА** – так же не являются телами вращения. Чаще всего они характеризуются формой параллелепипеда, в стенках которого имеются весьма точные отверстия (6...7 квалитет). Эти детали имеют 2-3 точно обрабатываемые плоскости с резьбовыми или сквозными отверстиями для их установки в машину. Это самые сложные и трудоемкие в изготовлении детали (рис. 40).

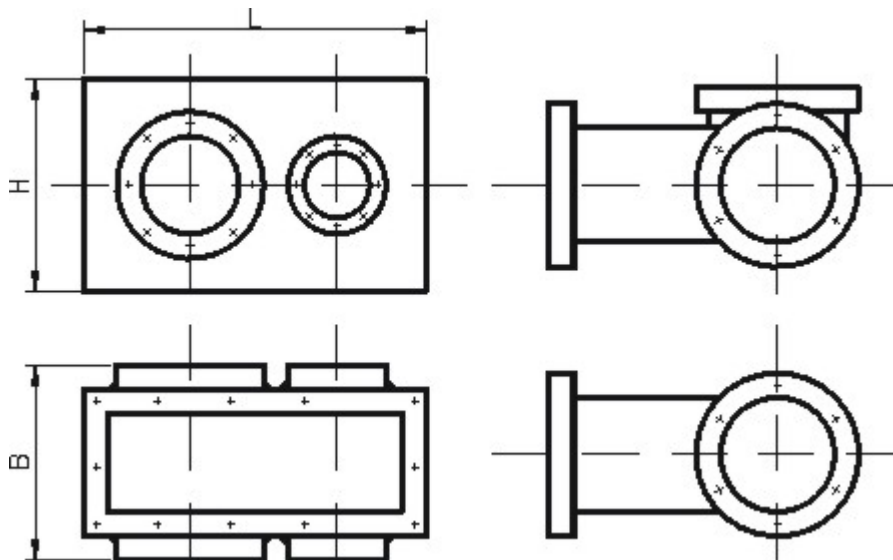


Рис. 40. Представители класса корпусов

3.2. Технология изготовления валов

3.2.1. Характеристика валов

В технологии машиностроения в понятие валы принято включать собственно валы, оси, пальцы, штоки, колонны и другие подобные детали машин, образованные наружными поверхностями вращения при значительном преобладании длины над диаметром. Конструктивное разнообразие валов вызывается различным сочетанием цилиндрических, конических, а также зубчатых (шлицевых), резьбовых поверхностей. Валы могут иметь шпоночные пазы, лыски, осевые и радиальные отверстия, резьбы (рис. 41).



Рис. 41. Классификация валов

Наибольшее распространение в машиностроении получили **ступенчатые валы** средних размеров. По данным ЭНИМСа, свыше 85 % ступенчатых валов составляют валы длиной 150...1 000 мм, диаметром 20...80 мм. Для перехода одной ступени в другую применяют канавку или галтель. Если они не предусмотрены, то придется применять подрезные резцы (кроме того, образуются концентраторы напряжений).

Шлицевые валы имеют прямобочные или эвольвентные шлицы. Наибольшее распространение имеют прямобочные шлицы (примерно 85...90 %). Шлицы могут быть сквозными или закрытыми (относительно одной ступени). Преобладают закрытые с одной стороны шлицы (около 65 %).

Валы-шестерни имеют цилиндрические или конические зубчатые венцы.

Технологические задачи.

Технологические задачи охватывают требования к точности валов по всем их параметрам (рис. 42).

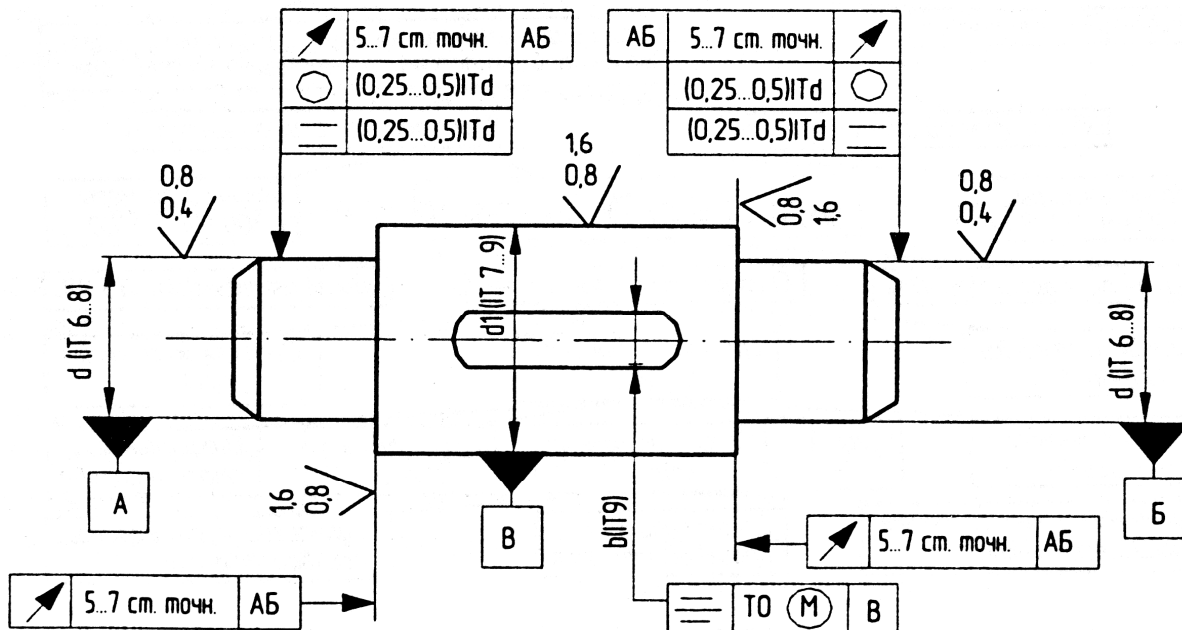


Рис. 42. Эскиз вала с типовыми техническими требованиями

Точность размеров. Точными поверхностями валов являются, как правило, его опорные шейки, поверхности под детали,

передающие крутящий момент. Обычно они выполняются по 6...7 квалитетам.

Точность формы. Наиболее точно регламентируется форма в продольном и поперечном сечениях у опорных шеек под подшипники качения. Отклонения от круглости и профиля в продольном сечении не должны превышать 0,25...0,5 допуска на диаметр в зависимости от типа и класса точности подшипника.

Точность взаимного расположения поверхностей. Для большинства валов главным является обеспечение соосности рабочих поверхностей, а также перпендикулярности рабочих торцов базовым поверхностям. Как правило, эти величины выбираются по V...VII степеням точности.

Качество поверхностного слоя. Шероховатость базовых поверхностей обычно составляет $Ra = 3,2...0,4$ мкм, рабочих торцов $Ra = 3,2...1,6$ мкм, остальных несоответственных поверхностей $Ra = 12,5...6,3$ мкм. Валы могут быть сырыми и термообработанными. Твердость поверхностных слоев, способ термообработки могут быть весьма разнообразными в зависимости от конструктивного назначения валов. Если значение твердости не превышает НВ 200...230, то заготовки подвергают нормализации, отжигу или термически не обрабатывают. Для увеличения износостойкости валов повышают твердость их рабочих поверхностей. Часто это достигается поверхностной закалкой токами высокой частоты, обеспечивающей твердость HRC 48...55. Поверхности валов из низкоуглеродистых марок стали подвергают цементации на глубину 0,7...1,5 мм с последующей закалкой и отпуском. Таким способом можно достичь твердости HRC 55...60.

Наличие остаточных напряжений в поверхностных слоях и их знак регламентируются редко и в основном для очень ответственных валов.

Типовые технические условия:

1. Диаметры ступеней обрабатываются по 6...8 квалитету.
2. Конусность и овальность ступеней в пределах половины допуска на диаметр, в ряде случаев значительно меньше.
3. Огранка ступеней в пределах 0,003...0,006 мм.

4. Диаметр, конусность и овальность точных осевых отверстий по IT5.

5. Радиальное биение средних ступеней относительно крайних в пределах 0,02...0,05 мм.

6. Радиальное биение выточек или осевых отверстий в пределах 0,02...0,04 мм.

7. Несимметричность оси шпоночного паза относительно оси вала в пределах 0,03...0,05 мм.

8. Разностенность полых валов в пределах 0,05...0,1 мм.

Требования к технологичности валов.

Наряду с общими требованиями к технологичности валов предъявляются и некоторые специфические требования.

1. Перепады диаметров ступенчатых валов должны быть минимальными. Это позволяет уменьшить объем механической обработки при их изготовлении и сократить отходы металла. По этой причине конструкция вала с канавками и пружинными кольцами более технологична конструкции вала с буртами.

2. Длины ступеней валов желательно проектировать равными или кратными длине короткой ступени, если токарная обработка валов будет осуществляться на многорезцовых станках. Такая конструкция позволяет упростить настройку резцов и сократить их холостые перемещения.

3. Шлицевые и резьбовые участки валов желательно конструировать открытыми или заканчивать канавками для выхода инструмента. Канавки на валу необходимо задавать одной ширины, что позволит прорезать их одним резцом.

4. Валы должны иметь центровые отверстия. Запись в технических требованиях о недопустимости центровых отверстий резко снижает технологичность вала. В таких случаях заметно удлиняют заготовку для нанесения временных центров, которые срезают в конце обработки.

5. Желательно, чтобы валы допускали обработку поверхностей проходными резцами, а диаметральные размеры шеек вала убывали к концам.

6. Закрытые шпоночные канавки желательно заменить открытыми, которые обрабатываются гораздо производительнее дисковыми фрезами.

3.2.2. Материалы и способы получения заготовок валов

Материалы.

К материалам валов предъявляются повышенные **требования**: по прочности, обрабатываемости, чувствительности к концентрации напряжений, износостойкости и способности подвергаться термообработке. Этим требованиям, в определенной степени, отвечают стали марок 35, 40, 45, 40Г, 40ХН и др. Достаточно редко валы отливают из чугуна.

В технических требованиях на изготовление валов прежде всего указываются твердость материала или необходимость соответствующей термической обработки. Если значение твердости не превышает НВ 200...230, то заготовки подвергают нормализации, отжигу или термически не обрабатывают. Для увеличения износостойкости валов повышают твердость их рабочих поверхностей. Часто это достигается поверхностной закалкой токами высокой частоты, обеспечивающей твердость HRC 48...55. Поверхности валов из низкоуглеродистых марок стали подвергают цементации на глубину 0,7...1,5 мм с последующей закалкой и отпуском. Таким способом можно достичь твердости HRC 55...60.

Заготовки.

В мелкосерийном и единичном производствах, а также для валов с малым перепадом ступеней заготовки валов получают из горячекатаного или холоднотянутого нормального **проката** (пруток).

Прокат круглого сечения поступает на машиностроительные заводы в виде многометровых прутков, из которых в заготовительных цехах нарезаются заготовки необходимой длины. Резка может быть проведена различными способами на различном оборудовании с соблюдением следующих условий. Процесс должен быть производительным, обеспечивать требуемую точность по

длине заготовки, перпендикулярность торцов вала, необходимое качество поверхности торцов, включая заданную шероховатость, а также минимальные потери металла.

В наибольшей мере указанным требованиям отвечают отрезные круглопильные станки, применяемые в серийном и массовом производствах. В качестве режущего инструмента в них применяются пильные диски, оснащенные сегментами из быстрорежущей стали. Таким диском можно разрезать прокат диаметром до 240 мм или пакет прутков меньшего диаметра. Торцы заготовок после отрезки имеют шероховатость $Ra = 25$ мкм. Заготовки из проката обычно подлежат правке на правильно-калибровочных станках или прессах.

При больших партиях или сложной форме предпочтительнее получение заготовок **методами пластического деформирования**. Эти методы (ковка, штамповка, периодический прокат, обжатие на ротационно-ковочных машинах) позволяют увеличить $K_{и.м}$ и уменьшить трудоемкость механической обработки. Выбор рационального метода производят с помощью технико-экономических расчетов. В крупносерийном и массовом производствах преобладают методы, обеспечивающие $K_{и.м}$ более 0,7 и выше (иногда до 0,95). Штучную заготовку из прутка целесообразно заменять штамповкой, если $K_{и.м}$ повышается не менее чем на 5 %.

Для станков с ЧПУ важна и точность заготовок. Например, метод **радиального обжатия** предварительно отрезанного прутка в холодном состоянии обеспечивает точность (в зависимости от диаметра) $\pm 0,02 \dots 0,2$ мм, шероховатость $Ra = 0,63 \dots 0,32$, коэффициент использования металла $K_{и.м} = 0,85 \dots 0,95$. Метод очень производительный, длительность операции 40...70 с. Сущность метода: заготовка в горячем или холодном состоянии подвергается периодическим обжатиям и вытягиванию по уступам путем большого числа последовательных и быстрых (через 0,01 с) ударов несколькими специальными матрицами. Вследствие такого обжатия материал пластически деформируется и течет в осевом направлении, уменьшая поперечное сечение заготовки и придавая ей нужную форму.

Другим оригинальным способом непрерывного изготовления заготовок ступенчатых валов является **поперечно-винтовая прокатка** их на трехвалковых станах. Процесс легко автоматизируется.

Отливки применяются в редких случаях, например, для крупных валов из чугуна.

3.2.3. Технологический процесс обработки валов

3.2.3.1. Общие положения

Разработка ТП начинается с детального изучения служебного назначения вала (чертежи, ТУ). В итоге устанавливается взаимосвязь между поверхностями, которая должна быть обеспечена при обработке вала. Проверить правильность простановки размеров и допусков можно только на основе расчета сборочных размерных цепей. В механизмах и машинах валы служат для передачи движения вращения. Обычно валы устанавливаются в корпусные детали на подшипниках качения и несут на себе детали передаточных устройств (шестерни, шкивы, муфты и т.п.). **Исполнительными поверхностями** валов являются шпоночные пазы и шлицевые поверхности, сопрягающиеся с деталями передаточных механизмов, либо винтовые, зубчатые поверхности на самом валу. Через эти поверхности валы и передают крутящий момент.

Основной конструкторской базой детали типа "вал" является геометрическая ось подшипниковых шеек вала и торцовая поверхность одной из них, которой вал базируется в корпусе в осевом направлении.

Вспомогательными базами, определяющими положение присоединяемых к валу деталей, являются поверхности ступеней и их торцы, на которые садятся детали передаточных механизмов.

В зависимости от масштаба выпуска можно разработать несколько вариантов типовых ТП. Ответственным этапом является выбор баз. Основными базами вала являются поверхности опорных шеек, но их неудобно использовать в качестве технологиче-

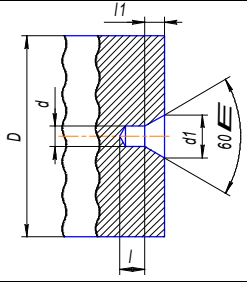
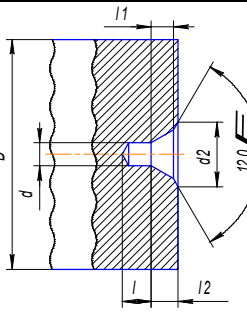
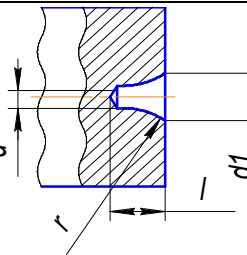
ских баз. Поэтому основной технологической базой валов является ось центровых отверстий в крайних торцах вала, которые обрабатываются при базировании заготовки по будущим подшипниковым шейкам. Принцип постоянства базирования соблюдается обработкой валов почти на всех операциях в центрах. Лишь в некоторых случаях (фрезерование шпоночных пазов) вал базируется по самой поверхности подшипниковых шеек. При этом может возникать погрешность базирования, влияющая на точность взаимного расположения шеек, равная величине несовпадения оси центровых отверстий и общей оси опорных шеек.

Для исключения погрешности базирования при выдерживании длин ступеней от торца вала необходимо в качестве технологической базы использовать торец заготовки. С этой целью заготовку устанавливают на плавающий передний центр.

Чаще всего для валов применяют следующие три формы и размеры центровых отверстий (табл. 1).

Таблица 1

Форма и размеры центровых отверстий

Эскиз	Обозначение	Назначение
	Тип <i>A</i> (без предохранительного конуса)	Изделия, после изготовления которых необходимость в центровых отверстиях отпадает
	Тип <i>B</i> (с предохранительным конусом)	Изделия, в которых центровые отверстия являются базой для многократного использования либо сохраняются в готовых изделиях
	Тип <i>R</i> (с дугообразными образующими)	Изделия повышенной точности

Рабочими участками являются конуса, которыми вал опирается на центры станка в процессе обработки.

3.2.3.2. Типовые маршруты изготовления валов

Рассмотрим основные операции механической обработки для изготовления вала с типовыми конструктивными элементами и требованиями к ним (см. рис. 41 и 42).

005 Заготовительная.

Для заготовок из проката: рубка прутка на прессе или обрезка прутка на фрезерно-отрезном или другом станке. Для заготовок, получаемых методом пластического деформирования, – штамповать или ковать заготовку.

010 Правильная (применяется для проката).

Правка заготовки на прессе. В массовом производстве может производиться до отрезки заготовки. В этом случае правится весь пруток на правильно-калибровочном станке.

015 Термическая.

Улучшение, нормализация.

020 Подготовка технологических баз.

Обработка торцов и сверление центровых отверстий. В зависимости от типа производства операцию производят:

- в единичном производстве (подрезку торцов и центрование выполняют на универсальных токарных станках последовательно за два установа);
- в серийном производстве (подрезку торцов выполняют отдельно от центрования на продольно-фрезерных или горизонтально-фрезерных станках, а центрование – на одностороннем или двустороннем центровальном станке). Могут применяться фрезерно-центровальные полуавтоматы последовательного действия с установкой заготовки по наружному диаметру в призмы и базированием в осевом направлении по упору (рис. 43);

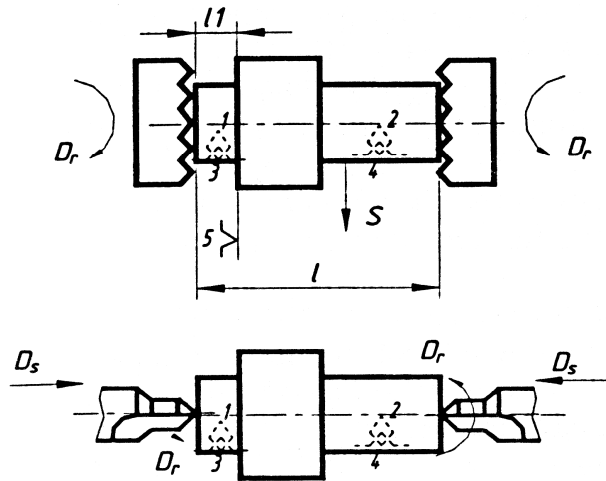


Рис. 43. Схема выполнения фрезерно-центровальной операции

- в массовом производстве (применяют фрезерно-центровальные станки барабанного типа, которые одновременно фрезеруют и центруют две заготовки без съема их со станка). Форму и размеры центровых отверстий назначают в соответствии с их технологическими функциями по стандарту.

Для нежестких валов (отношение длины к диаметру более 12) обработка шеек под люнеты.

025 Токарная (черновая).

Выполняется за два установка на одной операции или каждый установ выносится как отдельная операция. Производится точение наружных поверхностей (с припуском под чистовое точение и шлифование) и канавок. Это обеспечивает получение точности IT12, шероховатости Ra 6,3. В зависимости от типа производства операцию выполняют:

- в единичном производстве на токарно-винторезных станках;
- в мелкосерийном на универсальных токарных станках с гидросуппортами и станках с ЧПУ;
- в серийном на копировальных токарных станках, горизонтальных многорезцовых, вертикальных одношпиндельных полуавтоматах и станках с ЧПУ;
- в крупносерийном и массовом на многошпиндельных многорезцовых полуавтоматах; мелкие валы могут обрабатываться на токарных автоматах.

030 Токарная (чистовая).

Аналогичная приведенной выше. Производится чистовое точение шеек (с припуском под шлифование). Обеспечивается точность IT11...10, шероховатость Ra 3,2.

035 Фрезерная.

Фрезерование шпоночных канавок, шлицев, зубьев, всевозможных лысок.

Шпоночные пазы в зависимости от конструкции обрабатываются либо дисковой фрезой (если паз сквозной) на горизонтально-фрезерных станках, либо пальцевой фрезой (если паз глухой) на вертикально-фрезерных станках. В серийном и массовом производствах для получения глухих шпоночных пазов применяют шпоночно-фрезерные полуавтоматы, работающие "маятниковым" методом.

Шлицевые поверхности на валах чаще всего получают методом обкатывания червячной фрезой на шлицефрезерных или зубофрезерных станках. При диаметре шейки вала более 80 мм шлицы фрезеруют за два рабочих хода.

040 Сверлильная.

Сверление всевозможных отверстий.

045 Резьбонарезная.

На закаливаемых шейках резьбу изготавливают до термообработки. Если вал не подвергается закалке, то резьбу нарезают после окончательного шлифования шеек (для предохранения резьбы от повреждений).

050 Термическая.

Закалка объемная или местная, согласно чертежу детали.

055 Исправление центров (центрошлифовальная).

Перед шлифованием шеек вала центровые отверстия, которые являются технологической базой, подвергают исправлению путем шлифования конусным кругом на центрошлифовальном станке за два установа (рис. 44).

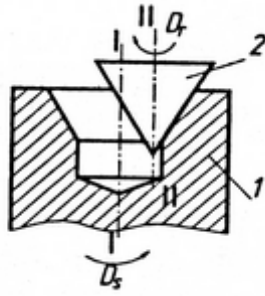


Рис. 44. Схема шлифования центрального отверстия:
1 – заготовка; 2 – шлифовальный круг

060 Шлифовальная.

Шейки вала шлифуют на круглошлифовальных или бесцентрошлифовальных станках. Шлицы шлифуются в зависимости от центрирования:

- по наружной поверхности – наружное шлифование на круглошлифовальных станках и шлифование боковых поверхностей на шлицешлифовальном полуавтомате одновременно двумя кругами и делением;
- по поверхности внутреннего диаметра – шлифование боковых поверхностей шлицев и шлифование внутренних поверхностей по диаметру либо профильным кругом одновременно, либо в две операции.

065 Моечная.

Промывка деталей на моечной машине.

070 Контрольная.

075 Нанесение антикоррозионного покрытия.

Наличие или отсутствие каких-либо конструктивных элементов (например, крепежных резьбовых отверстий в торце вала) приведет к включению (или исключению) в маршрут дополнительных операций.

В ГПС для обеспечения концентрации обработки и при использовании точных методов получения заготовки типовой маршрут можно сократить до следующего:

- черновая обработка основных форм наружной поверхности. В первую очередь обрабатывают поверхности, требующие перемещения в направлении передней бабки;

- черновая и чистовая обработки дополнительных форм поверхностей (если имеются дополнительные формы, требующие черновой обработки). Обрабатываются все дополнительные поверхности, кроме канавок для выхода резьбообрабатывающего инструмента и шлифовального круга, а также мелких выточек;
- чистовая обработка основных форм поверхности: подрезка торца (только на первой установке), чистовая обработка основных форм наружной поверхности;
- обработка дополнительных форм поверхности, не требующих черновой обработки.

Использование токарных ОЦ (например, станки МК6510Ф4, МК7130Ф3, МК7210Ф3, 1П757Ф322 и др.) позволяет еще больше концентрировать обработку за счет использования револьверных головок с дополнительным приводом (рис. 45).

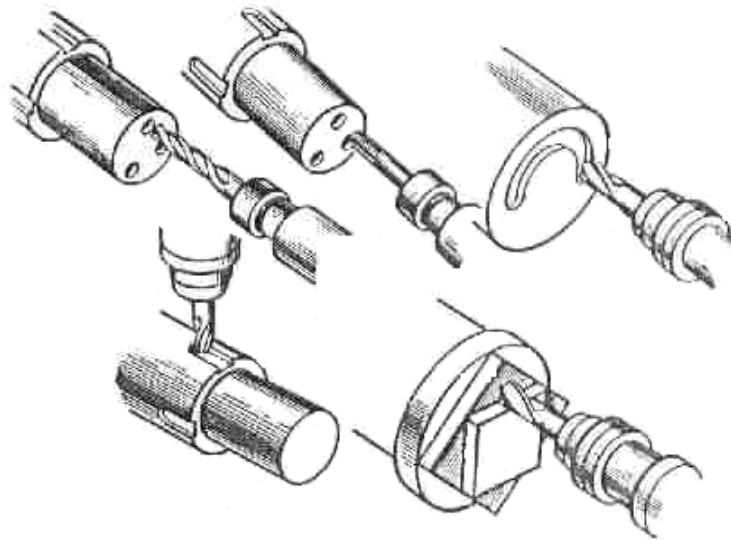


Рис. 45. Дополнительные операции, выполняемые на токарных многоцелевых станках

Основные приспособления:

- а) самоцентрирующие патроны – 21 % операций;
- б) поводковые патроны с самозахватывающимися кулачками – 38 % операций;

в) центра с хомутиком или торцовыми поводками (рис. 46) – 16 % операций. Используют неподвижный центр в передней бабке и вращающийся – в задней. Торцовые поводки целесообразно применять при диаметрах торца более 45 мм. Для выдерживания осевых размеров целесообразно использовать плавающий передний центр с упором торца в упорное кольцо центра.



Рис. 46. Токарный центр с торцовыми поводками

3.2.3.3. Обработка типовых элементов

А. Цилиндрические и конические поверхности.

Основной принцип – перемещение черновых резцов вдоль осей (с продольной или поперечной подачей), а чистовой проход по контуру.

При токарной обработке различают:

- а) черновое точение (или обдирочное) – с точностью обработки IT13...IT12 и шероховатостью поверхности Ra до 6,3 мкм;
- б) получистовое точение – IT12...IT11 и шероховатость до $Ra = 1,6$ мкм;
- в) чистовое точение – IT10...IT8 и шероховатость до $Ra = 0,4$ мкм.

При черновом обтачивании, как и при любой черновой обработке, снимают до 70 % припуска. При этом назначаются максимально возможные глубина резания t и подача S .

Черновое обтачивание заготовок из проката (поковки) может быть выполнено по трем схемам:

1) схема 1 – от большого диаметра к меньшему (рис. 47, 1), используется для валов с ослабленными конечными шейками. Основное время при работе по этой схеме рассчитывается следующим образом:

$$T_{o1} = \frac{L}{nS} = \frac{3l_1 + 2l_2 + l_3}{nS};$$

2) схема 2 – от меньшего диаметра к большему (рис. 47, 2); при этом каждая ступень обтачивается отдельно. Схема используется для жестких валов

$$T_{o2} = \frac{L}{nS} = \frac{2l_1 + l_2 + l_3}{nS};$$

3) комбинированная схема (рис. 47, 3) используется для обнаружения дефектов

$$T_{o3} = \frac{2l_1 + 2l_2 + l_3}{nS};$$

Как видно из приведенных формул, наиболее производительной является вторая схема.

На черновых операциях повышения производительности обработки добиваются увеличением глубины резания (уменьшением числа рабочих ходов), а также подачи.

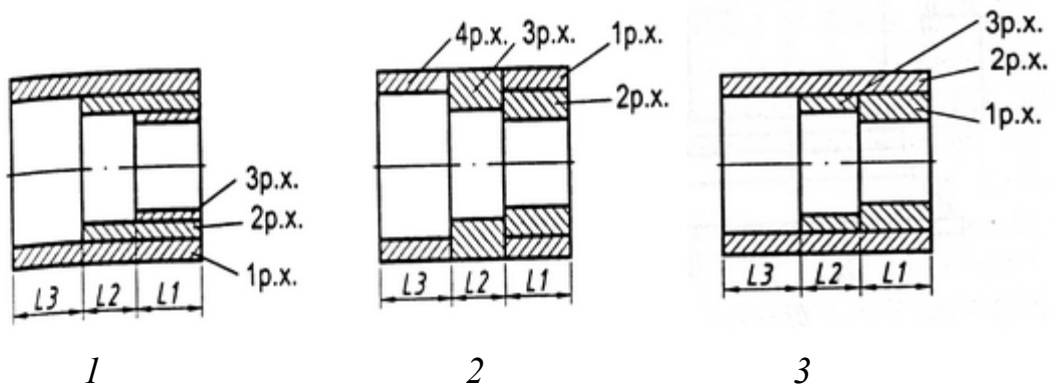


Рис. 47. Схемы черновой обработки:

1 – от большого диаметра к меньшему; 2 – от меньшего диаметра к большему; 3 – смешанный вариант

На чистовых операциях подача ограничивается заданной шероховатостью поверхности, поэтому сокращение основного

времени возможно за счет увеличения скорости главного движения резания.

В токарной обработке для черновой обработки используются четыре основные схемы движения инструмента (рис. 48).

Схема "петля" используется при обработке резцами, которые работают в одном направлении.

Схема "зигзаг" в основном применяется при обработке в обоих направлениях глубоких впадин чашечными резцами.

Схема "виток" мало отличается от схемы "зигзаг", но имеет преимущества при обработке неглубоких и относительно пологих впадин чашечными резцами.

Схема "спуск" предназначена для работы канавочным резцом.

Примеры траекторий для получения дополнительных форм приведены на рис. 49.

Б. Шпоночные пазы.

Наибольшее распространение в машиностроении получили призматические и сегментные шпонки.

Шпоночные пазы для призматических шпонок могут быть сквозными, закрытыми с одной стороны, закрытыми с двух сторон, т.е. глухими. Наименее технологичными являются глухие шпоночные пазы. Предпочтительнее применение сквозных пазов и пазов закрытых с одной стороны, но с радиусным выходом.



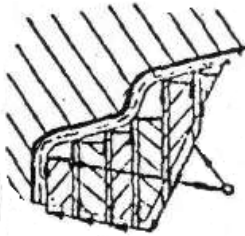
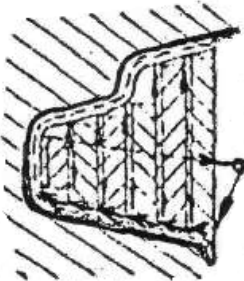

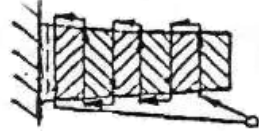
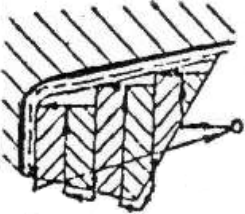
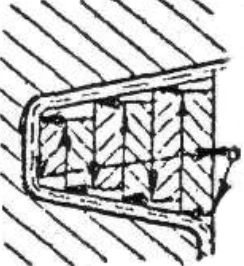
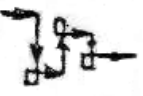

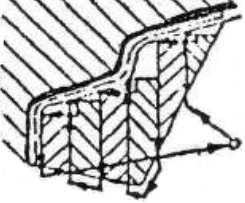
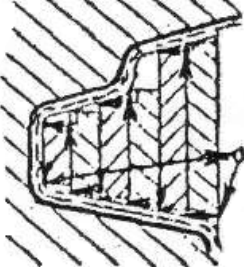

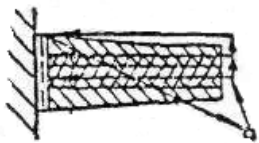
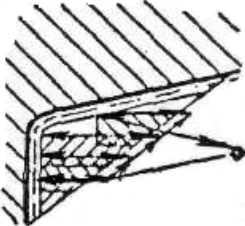
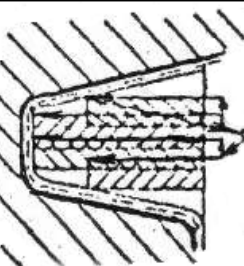
Схема	Тип зоны		
	открытая	получастная	закрытая
 <p>пелля</p>			
 <p>защитная</p>			
 <p>выток</p>			
 <p>стучок</p>			

Рис. 48. Зоны выборки и технологические схемы обработки

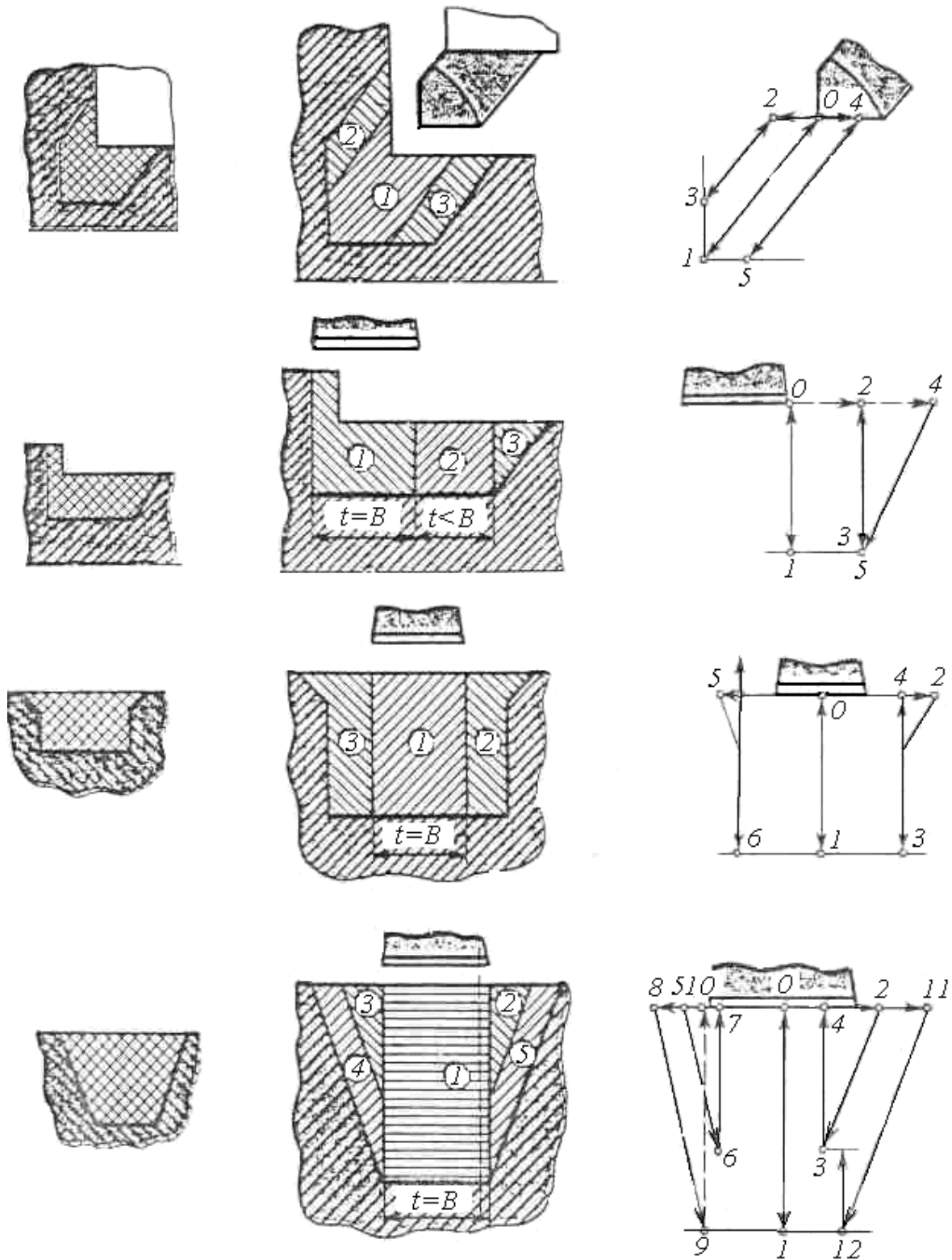


Рис. 49. Типовые схемы обработки канавок, проточек, желобов

К технологическим задачам при обработке шпоночных пазов относятся требования по точности ширины паза (по IT9), глу-

бины паза (с рядом отклонений: +0,1; +0,2; +0,3), длины (по IT15). Требуется обеспечить также симметричность расположения паза относительно оси шейки, на которой он расположен.

Наибольшая точность по глубине и параллельности паза достигается при базировании по центровым отверстиям. При использовании цилиндрических поверхностей лучшую точность дают самоцентрирующиеся призмы.

Сквозные и закрытые с одной стороны шпоночные пазы изготавливаются фрезерованием дисковыми фрезами (рис. 50, а). Фрезерование пазов производится за один-два рабочих хода. Этот способ наиболее производителен и обеспечивает достаточную точность ширины паза. Применение этого способа ограничивает конфигурация пазов: закрытые пазы с закруглениями на концах не могут выполняться этим способом; они изготавливаются концевыми фрезами за один или несколько рабочих ходов (рис. 50, б). Фрезерование концевой фрезой за один рабочий ход производится таким образом, что сначала фреза при вертикальной подаче проходит на полную глубину паза, а потом включается продольная подача, с которой шпоночный паз фрезеруется на полную длину. При этом способе требуется мощный станок, прочное крепление фрезы и обильное охлаждение. Вследствие того, что фреза работает в основном своей периферийной частью, диаметр которой после заточки несколько уменьшается, то в зависимости от числа переточек

Для получения по ширине точных пазов применяются специальные шпоночно-фрезерные станки с маятниковой подачей, работающие концевыми двуспиральными фрезами с торцовыми режущими кромками. При этом способе фреза врезается на 0,1...0,3 мм и фрезерует паз на всю длину, затем опять врезается на ту же глубину, как и в предыдущем случае, и фрезерует паз опять на всю длину, но в другом направлении (рис. 50, в). Отсюда вытекает следующее: 1) метод маятниковой подачи надо применять при изготовлении пазов, требующих взаимозаменяемости; 2) фрезеровать пазы за один рабочий ход нужно в тех случаях, когда допускается пригонка шпонок по канавкам.

Шпоночные пазы под сегментные шпонки изготавливаются фрезерованием с помощью дисковых фрез (рис. 50, *з*).

Шпоночные пазы в отверстиях втулок зубчатых колес, шкивов и других деталей, надевающихся на вал со шпонкой, обрабатываются в единичном и мелкосерийном производствах на долбежных станках, а в крупносерийном и массовом – на протяжных станках.

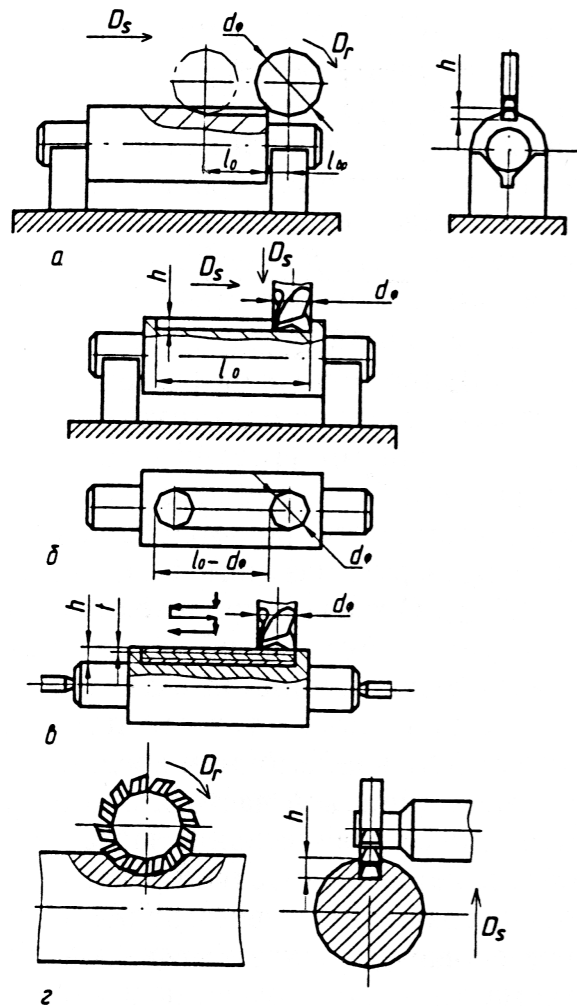


Рис. 50. Методы фрезерования шпоночных пазов:
a – дисковой фрезой с продольной подачей; *б* – концевой фрезой с продольной подачей; *в* – шпоночной фрезой с маятниковой подачей; *з* – дисковой фрезой с вертикальной подачей

В. Шлицы.

Различают шлицевые соединения прямоугольного, эвольвентного и треугольного профиля.

В наиболее часто используемых шлицевых соединениях прямоугольного профиля сопряженные детали центрируются тремя способами (рис. 51):

- центрированием втулки (или зубчатого колеса) по наружному диаметру (D) шлицевых выступов вала;
- центрированием втулки (или зубчатого колеса) по внутреннему диаметру (d) шлицев вала (т.е. по дну впадины);
- центрированием втулки (или зубчатого колеса) по боковым сторонам (b) шлицев.

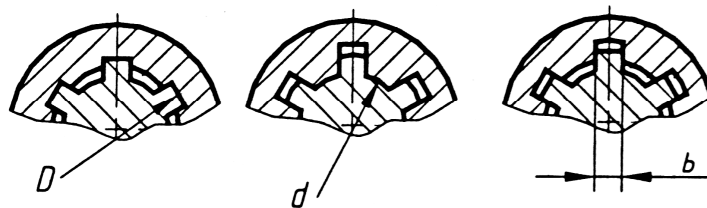


Рис. 51. Виды центрирования шлицевых соединений

Центрирование по наружному диаметру D наиболее технологично, но его использование ограничивается в основном неподвижными шлицевыми соединениями, не требующими повышенной твердости. Центрирование по внутреннему диаметру d применяется в тех случаях, когда элементы шлицевого соединения используются для подвижных сопряжений, подвергнутых закалке. Центрирование по ширине b применимо в случае передачи больших крутящих моментов с

Технологический процесс изготовления шлицев валов зависит от того, какой принят способ центрирования вала и втулки, т.е. термообрабатываются или нет поверхности шлицев.

Приведем в качестве примера маршруты обработки шлицев на валах соответственно не подвергаемых и подвергаемых термообработке:

- черновая токарная обработка, чистовая токарная обработка и шлифование цилиндрических поверхностей под нарезание шлицев, нарезание шлицев, снятие заусенцев и промывка;

- черновая токарная обработка, чистовая токарная обработка, нарезание шлицев с припуском под шлифование, фрезерование канавок для выхода круга при шлифовании центрирующей поверхности внутреннего диаметра (если на первой операции применяется фреза без усиков), термическая обработка, шлифование поверхностей шлицев, снятие заусенцев и промывка.

Шлицы на валах и других деталях изготавливаются различными способами, к числу которых относятся: фрезерование, строгание (шлицестрогание), протягивание (шлицепротягивание), накатывание (шлиценакатывание), шлифование.

Фрезерование шлицев на валах небольших диаметров (до 100 мм) обычно производится за один рабочий ход, больших диаметров – за два рабочих хода. Базы: центровые отверстия или опорные шейки.

Фрезеровать шлицы можно способом, изображенным на рис. 52, б, позволяющим применять более дешевые фрезы, чем фреза, изображенная на рис. 52, а.

Более производительным способом является одновременное фрезерование двух шлицевых канавок двумя дисковыми фрезами специального профиля (рис. 52, в).

Более точное фрезерование шлицев производится методом обкатки при помощи шлицевой червячной фрезы (рис. 52, г). Фреза помимо вращательного движения имеет продольное перемещение вдоль оси нарезаемого вала. Этот способ является наиболее точным и наиболее производительным.

Окончательная обработка шлицев по методу обкатки производится чистовым фрезерованием червячными шлицевыми фрезами высокого класса точности (АА и А).

При центрировании втулки (или зубчатого колеса) по внутреннему диаметру шлицев вала как червячная, так и дисковая фреза должна иметь "усики", вырезающие канавки у основания шлица, чтобы не было заедания во внутренних углах; эти канавки необходимы также при шлифовании по боковым сторонам и внутреннему диаметру.

Шлицестрогание ведется набором фасонных резцов, установленных с возможностью перемещаться в радиальном направ-

лении (рис. 53). Число резцов равно числу пазов нарезаемого вала. Обрабатываемая заготовка расположена вертикально, и ей сообщается возвратно-поступательное перемещение вдоль оси. Перед каждым перемещением заготовки вверх резцы перемещаются по направлению к оси заготовки на величину поперечной подачи. Рабочим движением является перемещение заготовки вверх. Этот процесс высокопроизводителен и используется в крупносерийном и массовом производстве.

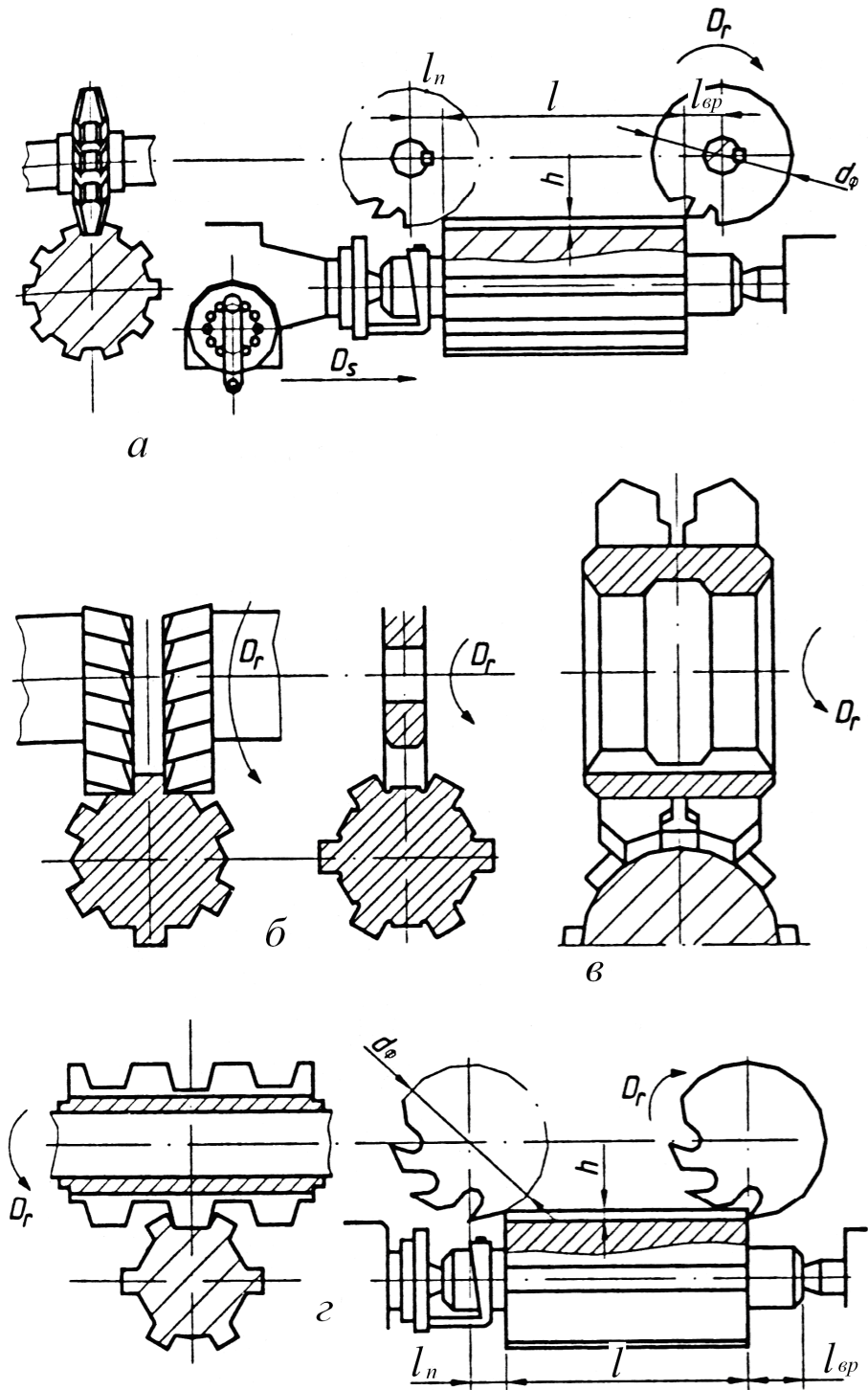


Рис. 52. Способы фрезерования шлицев

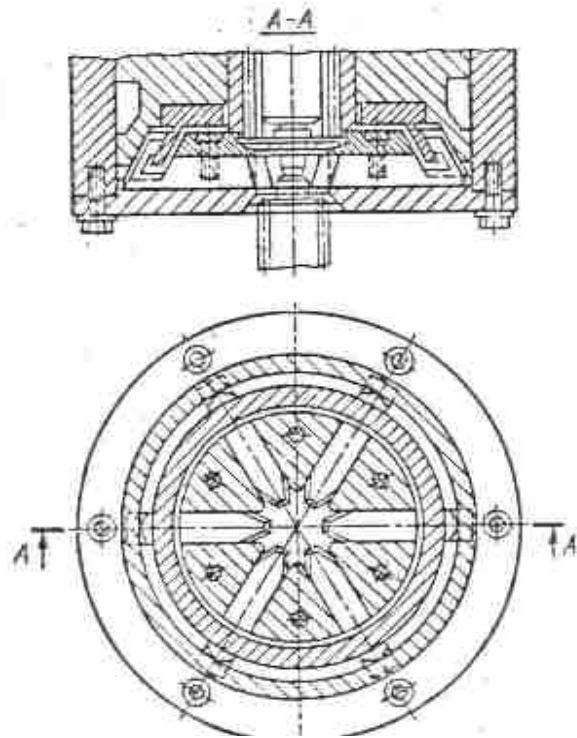


Рис. 53. Резцовая головка шлицестрогального станка

Шлицестрогание обеспечивает шероховатость поверхности $Ra = 3,2 \dots 0,8$ мкм.

Шлицепротягивание осуществляется двумя блочными протяжками, расположенными напротив друг друга, затем заготовка поворачивается на следующий шлиц (производительнее фрезерования в 5-8 раз) (рис. 54). Шлицепротягивание обеспечивает шероховатость поверхности $Ra = 1,6 \dots 0,8$ мкм.

Шлифование шлицев осуществляется в следующих случаях.

При центрировании шлицевых валов по наружному диаметру шлифуют только наружную цилиндрическую поверхность вала на обычных круглошлифовальных станках.

При центрировании шлицевых валов по внутреннему диаметру шлицев фрезерование последних дает точность обработки по внутреннему диаметру до $0,05 \dots 0,06$ мм, что не всегда является достаточным для точной посадки.

Если шлицевые валы после чернового фрезерования прошли термическую обработку в виде улучшения или закалки, то после этого они не могут быть профрезерованы начисто; их необходимо шлифовать по поверхностям впадины (т.е. по внутреннему

диаметру) и боковым сторонам шлицев. Наиболее производителен способ шлифования фасонным кругом (рис. 55, *a*), но при этом требуется частая правка круга. Несмотря на это данный способ широко распространен в машиностроении.

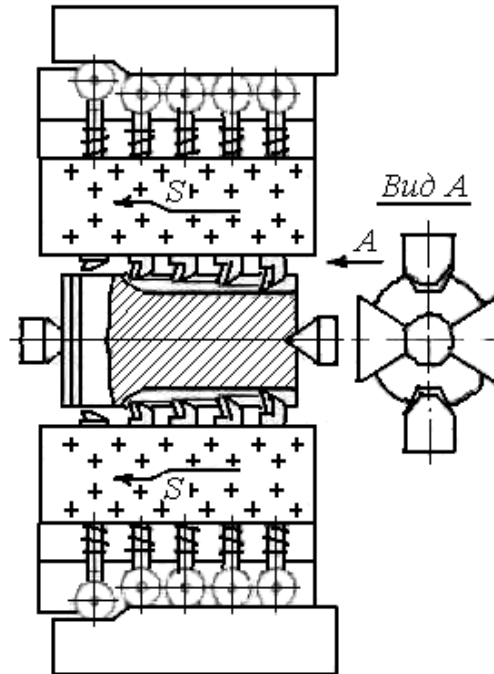


Рис. 54. Схема протягивания шлицев на валах

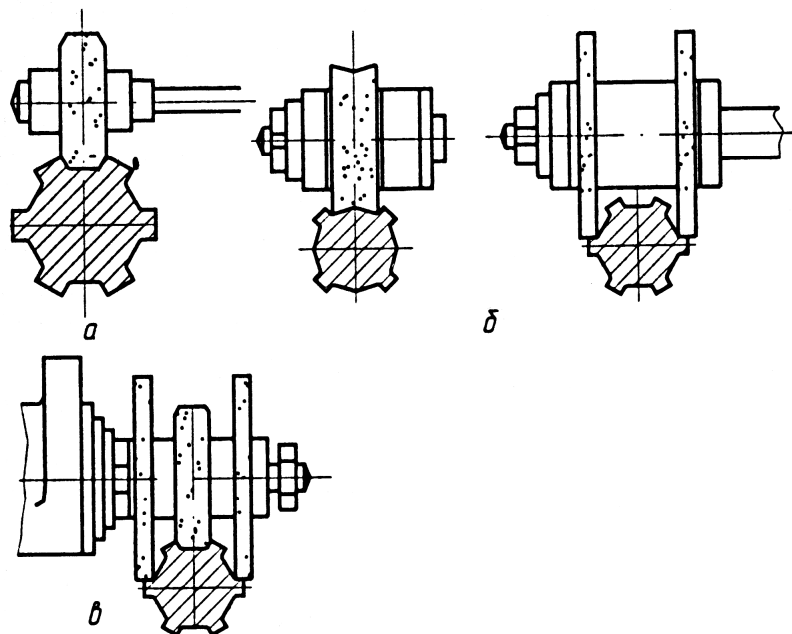


Рис. 55. Схемы шлифования шлицев:
a — фасонным кругом; *б* — в две операции; *в* — тремя кругами

Шлифовать шлицы можно в две отдельные операции (рис. 55, б): в первой шлифуют только впадины (по внутреннему диаметру), а во второй – боковые стороны шлицев. Но такой способ шлифования менее производителен, чем первый.

Для объединения двух операций шлифования в одну применяются станки, на которых шлицы шлифуются одновременно тремя кругами: один шлифует впадину, а два других – боковые поверхности шлицев (рис. 55, в).

Перспективно холодное **накатывание шлицев** роликами или рейками. Накатанные шлицы на 10...20 % прочнее фрезерованных на скручивание. Для шлицев модулем до 2,5 используют три ролика из высоколегированной стали. Рекомендуемые режимы: окружная скорость роликов 15...20 м/мин, осевая подача – 150...200 мм/мин. Погрешность шага не более 0,03 мм, накопленная погрешность шага 0,05...0,1 мм, шероховатость $Ra = 0,63...0,32$. Производительность примерно в 10 раз выше, чем при фрезеровании.

Г. Резьбовая поверхность.

Наружную резьбу можно изготавливать различными инструментами: резцами, гребенками, плашками, самораскрывающимися резьбонарезными головками, дисковыми и групповыми фрезами, шлифовальными кругами, накатным инструментом.

Для изготовления внутренней резьбы применяют резцы, метчики, раздвижные метчики, групповые фрезы, накатные ролики.

Тот или иной метод нарезания резьбы применяется в зависимости от профиля резьбы, характера и типа материала изделия, объема производственной программы и требуемой точности.

При нарезании резьбы резцом используют симметричную (рис. 56, а) схему – резец вводится вдоль оси симметрии канавки для резьбы с шагом до 2 мм, при более крупных шагах – схемы б или в (б – односторонняя, в – шахматный порядок).

Токарные станки применяются для нарезания резьбы преимущественно:

- для нарезания резьбы на поверхностях, предварительно обработанных на токарном станке, благодаря чему обеспечивает-

ся правильное положение резьбы относительно других поверхностей;

- для нарезания очень точных длинных винтов (в этом случае токарный станок, работающий одним резцом, имеет преимущество перед всеми другими методами, в том числе и перед фрезерованием) при выполнении работ, подходящих для резьбофрезерного станка, когда его нет или объем партии мал;
- для нарезания резьб большого диаметра, нестандартного профиля или шага, а также вообще во всех случаях, когда приобретение подходящих плашек и метчиков не оправдывается объемом производства;
- для нарезания прямоугольных резьб, чистовое фрезерование которых невозможно, а применение плашек и метчиков хотя и возможно, но затруднительно, особенно при обработке крупных заготовок.



Рис. 56. Схемы обработки профиля крепежной резьбы (обозначения в тексте)

К недостаткам нарезания резьбы на токарных станках относятся низкая производительность, уступающая другим методам нарезания резьбы, а также зависимость точности обработки среднего диаметра от квалификации рабочего.

Фрезерование резьбы широко распространено в серийном и массовом производствах и применяется для нарезания наружных и внутренних резьб на резьбофрезерных станках. Оно осуществляется двумя основными способами: дисковой фрезой и групповой (гребенчатой) фрезой. Нарезание дисковой фрезой применяют при нарезании резьб с большим шагом и круглым профилем и главным образом для предварительного нарезания трапецеидаль-

ных резьб за один, два или три рабочих хода. При нарезании фреза вращается и совершает поступательное движение вдоль оси заготовки, причем перемещение за один оборот заготовки должно точно соответствовать шагу резьбы.

Для коротких резьб может применяться резьбовая гребенчатая фреза (готовая резьба получается за 1,25 оборота заготовки). Высокую точность (поле допуска 6g, 8g) дает метод накатывания резьбы.

Шлифование резьб выполняют чаще всего после термической обработки заготовок. Резьбошлифование может быть наружным и внутренним, осуществляется на различных резьбошлифовальных станках. Существуют следующие способы шлифования резьбы: однопрофильным кругом; многопрофильным кругом с продольным движением подачи; врезное; широким многопрофильным кругом.

3.2.3.4. Отделочные операции

А. Тонкое (алмазное) точение.

Тонкое точение применяется главным образом для отделки деталей из цветных металлов и сплавов (бронза, латунь, алюминиевые сплавы и пр.) и частично для деталей из чугуна и закаленных сталей (HRC 45...60). Объясняется это тем, что шлифование цветных металлов и сплавов значительно труднее, чем стали и чугуна, вследствие быстрого засаливания кругов. Кроме того, имеются некоторые детали, шлифование которых не допускается из-за возможного шаржирования поверхности.

Тонкое точение обеспечивает получение наружных цилиндрических поверхностей вращения правильной геометрической формы с точным пространственным расположением осей и является высокопроизводительным методом.

При тонком точении используются алмазные резцы или резцы, оснащенные твердым сплавом (ТЗ0Т4, синтетические сверхтвердые материалы типа оксидная керамика ВОК60 $\{Al_2O_3 + TiC\}$ и оксидно-нитридная керамика "кортинит" $\{Al_2O_3 + TiN\}$, гексанит-Р, эльбор-Р).

Тонкое точение характеризуется незначительной глубиной резания ($t = 0,05...0,2$ мм), малыми подачами ($S =$

= 0,02...0,2 мм/об) и высокими скоростями главного движения резания ($V = 120...1\ 000$ м/мин). Точность размеров IT5...IT6; $Ra = 0,8...0,4$ мкм.

Подготовка поверхности под тонкое точение сводится к чистовой обработке с точностью IT9...IT10. Весь припуск снимается за один рабочий ход. Применяются станки особо высокой точности, жесткости и виброустойчивости. На этих станках не следует выполнять другие операции.

Б. Шлифование.

Шлифование – основной метод чистовой обработки наружных цилиндрических поверхностей. Шейки валов шлифуют в две операции: предварительное и чистовое шлифование. После чистового шлифования точность размера IT6, шероховатость $Ra = 1,6...0,4$ мкм.

Как правило, все наружные цилиндрические поверхности с точностью выше IT8 и шероховатостью $Ra = 1,6...0,4$ мкм подвергают после чистового точения шлифованию.

Заготовке сообщается вращение с окружной скоростью $V_{\text{заг}} = 10...50$ м/мин, которая зависит от диаметра обработки заготовки. Окружная скорость шлифовального круга (скорость главного движения резания) $V = 30...60$ м/с. Подача S и глубина резания варьируются в зависимости от способов шлифования. Различают следующие разновидности шлифования: продольное (с продольным движением подачи) и врезное (с поперечным движением подачи).

В. Притирка.

Притирка осуществляется между двумя чугунными (свинцовыми, медными) притирами.

Диски вращаются в разные стороны. Детали закладываются в сепаратор, закрепленный на кривошипе. Достижимая точность процесса IT6, $Ra = 0,05...0,025$ мкм.

Г. Суперфиниширование.

Суперфиниширование – отделочная обработка различных поверхностей деталей, в том числе цилиндрических, абразивными брусками. В результате суперфиниширования шероховатость поверхности снижается до $Ra = 0,1...0,016$ мкм, увеличивается

относительная опорная длина профиля поверхности с 20 до 90 %. Существенного изменения размеров и макрогеометрии поверхности не наблюдается. Обработка производится мелкозернистыми (зернистость не ниже 320) брусками с добавлением смазочного вещества (смесь керосина с маслом) при небольшой скорости (до 2,5 м/с) и с весьма малыми давлениями инструмента на поверхность детали (0,1...0,3 МПа – для заготовок деталей из стали; 0,1...0,2 МПа – для заготовок деталей из чугуна и 0,05...0,1 МПа – для заготовок деталей из цветных металлов).

Д. Полирование.

Полирование предназначено для уменьшения параметров шероховатости поверхности без устранения отклонений размеров и формы деталей. При окончательном полировании достигается (при малых давлениях резания 0,03...0,2 МПа) параметр шероховатости Ra , равный 0,1...0,01 мкм. Абразивными инструментами являются эластичные круги (войлок, ткань, кожа и т.п.), покрытые полировальными пастами, шлифовальные шкурки и свободные абразивы (обработка мелких заготовок в барабанах и виброконтейнерах). В качестве абразивных материалов применяют электрокорунд, карбиды кремния, бора, окись хрома, железа, алюминия, пасты ГОИ, алмазные и эльборовые шкурки и др.

3.2.3.5. Методы упрочнения

Известно, что состояние поверхностного слоя валов и других деталей оказывает существенное влияние на эксплуатационные свойства машин. Специальной обработкой можно придать поверхностным слоям деталей машин особые физико-механические свойства. Для этой цели в машиностроении применяют ряд методов. Все эти методы могут быть классифицированы следующим образом:

- методы поверхностной термической обработки (обычная закалка, закалка токами высокой частоты);
- химико-термические методы (цементация, азотирование, цианирование);
- диффузионная металлизация (диффузионное алитирование, хромирование, силицирование и др.);

- покрытие поверхностей твердыми сплавами и металлами (покрытие литыми и порошкообразными сплавами);
- металлизация поверхностей (распыление расплавленного металла);
- поверхностно-пластическое деформирование.

Закалка поверхностная – нагревание электротоком или газовым пламенем поверхности изделия. Сердцевина изделия после охлаждения остается незакаленной. Закалкой получается твердая износостойчивая поверхность при сохранении прочной и вязкой сердцевины. Кроме того, поверхностная закалка может осуществляться с помощью лазерного луча.

Цементация – насыщение поверхностного слоя стали углеродом при нагревании ее в твердом, газообразном или жидком карбюризаторе, выдержка и последующее охлаждение. Детали после цементации подвергаются закалке для достижения высокой твердости поверхностного слоя и сохранения пластичной сердцевины.

Азотирование – насыщение поверхностного слоя стали азотом при нагревании в газообразном аммиаке (температура не ниже 450 °С), выдержка при этой температуре и последующее охлаждение. Повышается твердость, износостойчивость и антикоррозийные свойства.

Цианирование – одновременное насыщение поверхностного слоя стали углеродом и азотом. При этом повышаются твердость, износостойкость.

Для придания стали специальных физических и химических свойств (жаростойкости, антикоррозийных свойств и др.) применяют **диффузионную металлизацию**. Она заключается в нагревании стальной поверхности, контактирующей с металлосодержащей средой, до высокой температуры, насыщении поверхности алюминием (алитирование), хромом (диффузионное хромирование), кремнием (силицирование) и другими металлами, выдержке и последующем охлаждении.

Покрывание поверхностей твердыми сплавами и металлами, а также **металлизацию** (напыление) применяют для повышения износостойкости поверхностей.

При использовании в качестве присадочного материала порошков возможны следующие методы напыления: плазменное напыление, с применением лазеров, и др.

Поверхностно-пластическое деформирование (ППД) – один из наиболее эффективных технологических путей повышения работоспособности и надежности деталей. В результате ППД повышаются твердость и прочность поверхностного слоя, формируются благоприятные остаточные напряжения, уменьшается параметр шероховатости Ra , увеличиваются радиусы закругления вершин и относительная опорная длина профиля.

Формирование поверхностного слоя с заданными свойствами должно обеспечиваться технологией упрочнения.

Наиболее широко применяют способы обкатывания и раскатывания шариковыми и роликовыми обкатниками наружных и внутренних цилиндрических, плоских и фасонных поверхностей. Цилиндрические наружные, внутренние, фасонные поверхности обрабатываются, как правило, на токарных, револьверных, сверлильных и других станках; плоские поверхности – на строгальных, фрезерных станках. Примеры обкатывания и раскатывания поверхностей роликами приведены на рис. 57. Обычно этими способами обрабатывают достаточно жесткие заготовки из стали, чугуна и цветных сплавов.

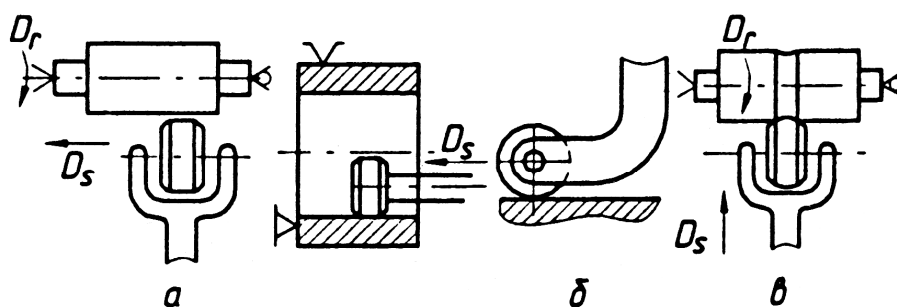


Рис. 57. Схемы обработки роликами:

а – наружных и внутренних поверхностей; *б* – плоских поверхностей; *в* – фасонных поверхностей

Качество обрабатываемой поверхности при обкатывании роликами и шариками в значительной степени зависит от режи-

мов деформирования: силы обкатывания (или давления на ролик и шарик), подачи, скорости, числа рабочих ходов и применяемой смазочно-охлаждающей жидкости. До обкатывания и раскатывания заготовки обрабатывают точением, шлифованием и другими способами, обеспечивающими точность по 7...9 квалитетам и $Ra < 1,6...0,2$ мкм.

3.3. Технология изготовления втулок и дисков

3.3.1. Характеристика втулок и дисков

К деталям класса "втулок" относятся втулки, гильзы, станы, вкладыши, шестерни со ступицей (технология обработки шестерен будет рассмотрена подробно далее), т.е. детали, образованные наружными и внутренними поверхностями вращения, имеющие общую прямолинейную ось.

Втулки – обычно вспомогательные детали, обеспечивающие правильное положение зубчатых колес, шкивов, подшипников, также определяют собственное положение валов в корпусах. Некоторые виды подшипниковых втулок служат как опоры вращающихся валов.

Детали класса "диски" служат как элементы передаточных механизмов для передачи крутящих моментов. Это одновенцовые зубчатые колеса, шкивы, диски тормозных муфт и им подобные детали.

Технологические задачи.

Отличительной технологической задачей является обеспечение концентричности наружных поверхностей с отверстием и перпендикулярности торцов к оси отверстия.

Точность размеров. Диаметры наружных поверхностей выполняют по $h6$, $h7$; отверстия по $H7$, реже по $H8$, для ответственных сопряжений по $H6$.

Точность формы. В большинстве случаев особые требования к точности формы поверхностей не предъявляются, т.е. погрешность формы не должна превышать определенной части поля допуска на размер.

Точность взаимного расположения:

- концентричность наружных поверхностей относительно внутренних поверхностей 0,015...0,075 мм;
- разностенность не более 0,03...0,15 мм;
- перпендикулярность торцовых поверхностей к оси отверстия 0,2 мм на радиусе 100 мм, при осевой загрузке на торцы отклонение от перпендикулярности не должно превышать 0,02...0,03 мм.

Качество поверхностного слоя. Шероховатость внутренних и наружных поверхностей вращения соответствует $Ra = 1,6...3,2$ мкм, торцов $Ra = 1,6...6,3$ мкм, а при осевой нагрузке $Ra = 1,6...3,2$ мкм. Для увеличения срока службы твердость исполнительных поверхностей втулок выполняется HRC 40...60.

3.3.2. Материалы и заготовки для втулок и дисков

В качестве материалов для втулок служат сталь, латунь, бронза, серый и ковкий антифрикционный чугун, специальные сплавы, металлокерамика, пластмассы.

Заготовками для втулок с диаметром отверстия до 20 мм служат калиброванные или горячекатаные прутки, а также литые стержни. При диаметре отверстия больше 20 мм применяются цельнотянутые трубы или полые заготовки, отлитые в песчаные или металлические формы, используют также центробежное литье и литье под давлением. В серийном производстве чаще используют штамповку.

3.3.3. Технологический процесс обработки втулок

Соответственно этому служебному назначению **исполнительными поверхностями** у втулок являются либо основное отверстие и соосная ему наружная цилиндрическая поверхность, либо зубчатая поверхность (шпоночный паз).

Основной конструкторской базой у деталей класса "втулки" является ось основного отверстия, если деталь садится на

вал, или наружная цилиндрическая поверхности, если деталь вставляется в отверстие в корпусе.

Задача обеспечения concentricity наружных поверхностей относительно отверстия и перпендикулярности торцовых поверхностей к оси отверстия может быть решена обработкой:

- наружных поверхностей, отверстий и торцов за один установ;
- всех поверхностей за два установка или за две операции с базированием при окончательной обработке по наружной поверхности (обработка от вала);
- всех поверхностей за два установка или за две операции с базированием при окончательной обработке наружной поверхности по отверстию (обработка от отверстия).

При обработке за один установ рекомендуется следующий технологический маршрут обработки втулки:

- подрезка торца у прутка, подача прутка до упора, зацентровка торца под сверление, сверление отверстия и обтачивание наружной поверхности, растачивание или зенкерование отверстия и обтачивание наружной поверхности со снятием фасок на свободном торце, предварительное развертывание, окончательное развертывание, отрезка. Эта первая операция выполняется на токарно-револьверном станке, одношпиндельном или многошпиндельном токарном автомате;
- снятие фасок с противоположного торца втулки на вертикально-сверлильном или токарном станке;
- сверление смазочного отверстия;
- нарезание смазочных канавок на специальном станке.

При обработке втулки из трубы вместо сверления производят зенкерование или растачивание отверстия, далее технологический маршрут сохраняется.

При выборе метода базирования следует отдавать предпочтение базированию по отверстию, которое имеет ряд преимуществ:

- при обработке на жесткой или разжимной оправке погрешность установки отсутствует или значительно меньше, чем

при обработке в патроне с креплением заготовки по наружной поверхности;

- более простое, точное и дешевое центрирующее устройство, чем патрон;
- при использовании оправки может быть достигнута высокая степень концентрации обработки.

Типовой ТП при обработке от центра к периферии следующий.

005 Заготовительная.

Штамповка или резка заготовки из проката или трубы.

010 Токарная.

В зависимости от типа производства выполняется за одну операцию и два установка (единичное) или за две операции (серийное и массовое).

Первый установ (базирование по наружной поверхности и торцу в патроне) – подрезка свободного торца, сверление и зенкерование или растачивание отверстия (с припуском под шлифование), растачивание канавок и фасок.

Второй установ (базирование по отверстию и торцу на оправке) – подрезка второго торца, точение наружных поверхностей (с припуском под шлифование), точение канавок и фасок.

015 Сверлильная.

Сверление, зенкерование отверстий, нарезка резьбы. Производится на вертикально-сверлильных станках, сверлильных станках с ЧПУ, агрегатных станках.

020 Термическая.

Закалка согласно чертежу.

025 Внутришлифовальная.

Шлифование отверстия на внутришлифовальном станке. Деталь базируется по наружному диаметру и торцу в патроне.

030 Круглошлифовальная.

Шлифование наружных поверхностей и торца на круглошлифовальном или торцекруглошлифовальном станке.

035 Моечная.

040 Контрольная.

045 Нанесение покрытия.

Пример. Ниже приведены краткое описание операций и операционные эскизы для изготовления втулки (рис. 58).

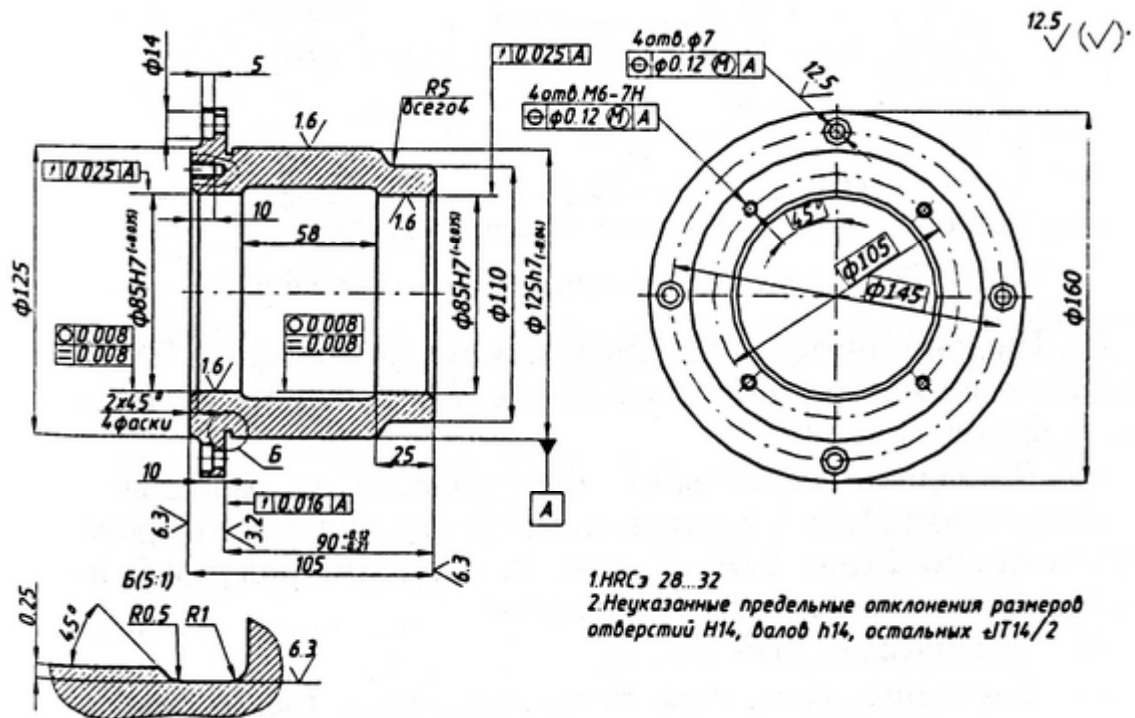


Рис. 58. Втулка

00. Заготовительная (ГКМ)

05. Токарно-винторезная. Выполняется на станке с ЧПУ РТ-706. Расточить поверхность 1 под шлифование 2 начисто, подрезать торец, расточить фаски (рис. 59).

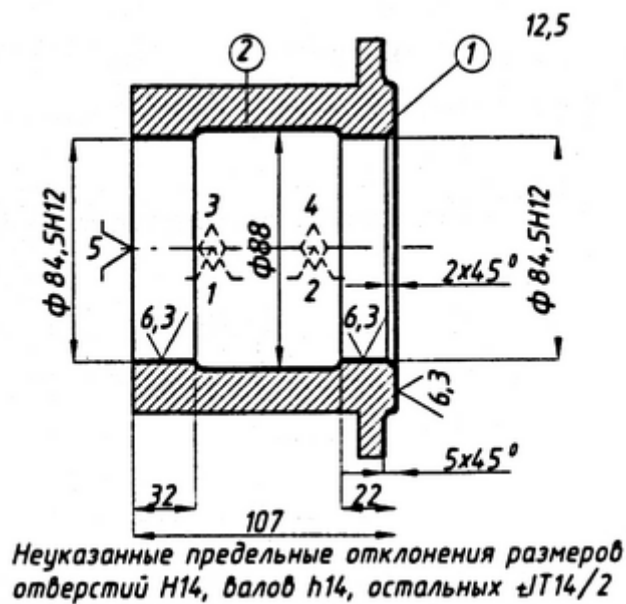


Рис. 59. Операционный эскиз к операции 05

10. Токарно-винторезная. Выполняется на станке с ЧПУ РТ-706. Точить поверхности 1 (под шлифование) 2, 3, 4 начисто, подрезать торец и фаски (рис. 60).

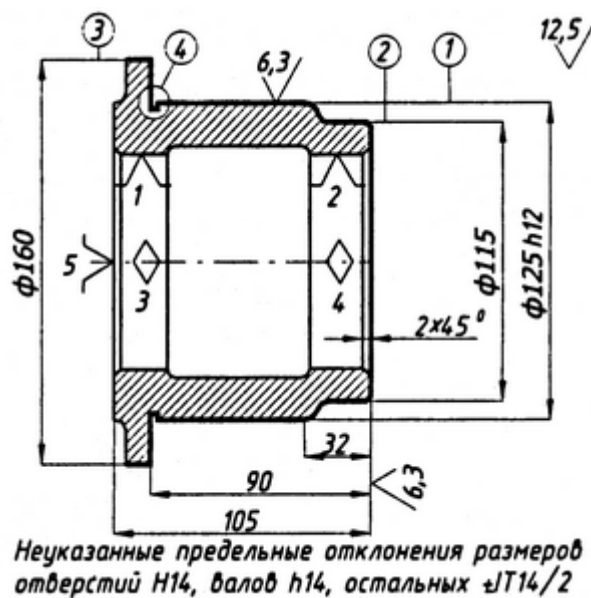


Рис. 60. Операционный эскиз к операции 10

15. Радиально-сверлильная. Выполняется на радиально-сверлильном станке 2Н53. Сверлить четыре отверстия 1 и зенкеровать четыре отверстия 2 (рис. 61). Сверление отверстий под резьбу и нарезание резьбы (на эскизе не показаны).

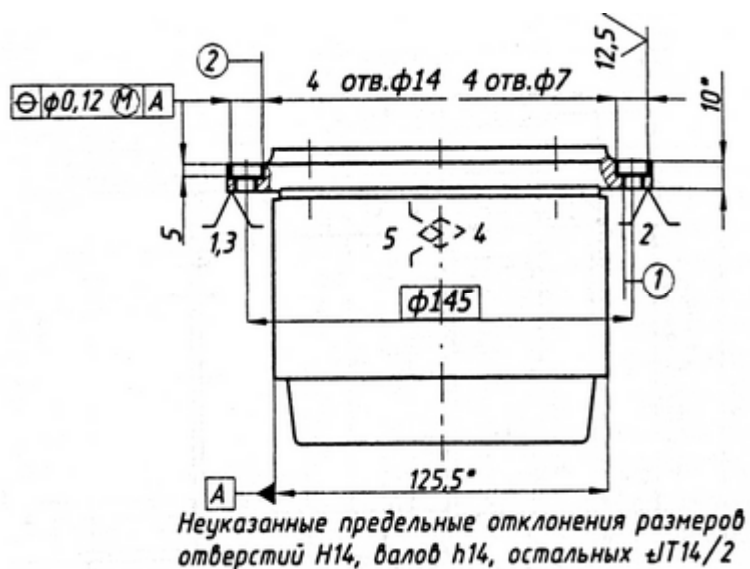


Рис. 61. Операционный эскиз к операции 15

20. Термическая HRC 50...55.

25. Внутришлифовальная предварительная (эскиз аналогичен операции 35). Выполняется на станке 3227. Шлифовать поверхности 1 и 2.

30. Круглошлифовальная предварительная (эскиз аналогичен операции 40). Выполняется на станке 3А153. Шлифовать поверхность 1 и торец 2.

35. Внутришлифовальная чистовая. Выполняется на станке 3227. Шлифовать поверхности 1, 2 (рис. 62).

40. Круглошлифовальная чистовая. Выполняется на станке 3А153. Шлифовать поверхность 1 и торец 2 (рис. 63).

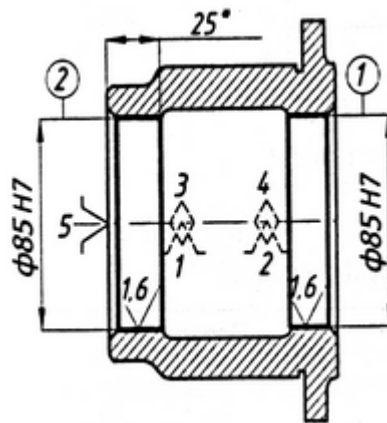


Рис. 62. Операционный эскиз к операции 35

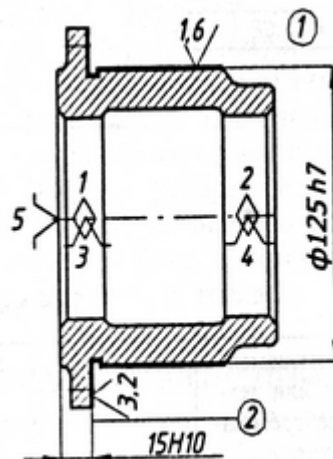


Рис. 63. Операционный эскиз к операции 40

Для повышения надежности работы режущего инструмента рекомендуется сначала сделать один рабочий ход с $S_{\text{поп}}$ (к оси) и

один рабочий ход с $S_{\text{прод}}$, чтобы улучшить условия врезания резца в последующем. Дальнейшие перемещения РИ осуществляются из условия минимума числа рабочих ходов. Обычно при обработке узких заготовок – перпендикулярно оси вращения, широких – параллельно оси вращения.

3.3.4. Технологический процесс обработки дисков

Исполнительными поверхностями этих деталей являются зубчатые венцы, канавки, отверстия под пальцы (у муфт). **Конструкторской базой** таких деталей является торец большого диаметра (три степени свободы) и короткие основные отверстия (направляющая база – две степени свободы).

Соответственно этому **основной технологической базой** является один из торцов (установочная база) и основное отверстие (направляющая база).

Основные схемы базирования. Технологические базы – центральное отверстие и обработанный торец, причем короткое отверстие является двойной опорной базой, а торец – установочной.

Обработку шкивов средних размеров ($d = 200...400$ мм) производят на токарных, в крупносерийном производстве – на револьверных станках.

Основным служебным назначением фланцев является ограничение осевого перемещения вала, установленного на подшипниках. Отсюда следует, что основными конструкторскими базами фланца будут поверхности центрирующего пояска по размеру отверстия в корпусе и торцы. Поскольку в качестве технологических баз при обработке заготовки целесообразно выбирать основные базы детали, то их надо обработать на первых операциях. В связи с этим на первой операции в качестве технологических баз используют наружную цилиндрическую поверхность и торец большого фланца, а на последующих – посадочную поверхность цилиндрического пояска и его торец. На этих же базах обрабатывают крепежные отверстия и лыски, если они заданы чертежом.

Типовой маршрут изготовления дисков.

005 Заготовительная.

В большинстве случаев – лить заготовку, ковать или штамповать. Мелкие шкивы – из прутка.

010 Очистка и обрубка заготовки (для литья).

020 Токарная.

Растачивание отверстия с припуском под последующую обработку и подрезка торца. Технологическая база – "черная" поверхность обода или ступицы. Выполняется в зависимости от маршрутов и типа производства на токарном, револьверном или карусельном станке.

025 Токарная.

Подрезать второй торец. Технологическая база – обработанные отверстия и торец.

030 Протяжная.

Протянуть цилиндрическое отверстие. Технологическая база – отверстие и торец. Станок вертикально-протяжной.

035 Протяжная или долбежная.

Протянуть или долбить шпоночный паз. Технологическая база – отверстие и торец. Станок вертикально-протяжной или долбежный.

040 Токарная (черновая).

Точить наружный диаметр и торцы обода, точить клиновидные канавки. Технологическая база – отверстие. Станок токарный или многолезцовый токарный.

045 Токарная (чистовая).

Точить наружный диаметр и канавки. При криволинейной образующей на токарно-копировальном станке или токарном станке по копиру.

050 Сверлильная. Сверлить отверстия и нарезать резьбу (если требуется по чертежу). Технологическая база – торец. Станок сверлильный.

055 Балансировочная. Балансировка и высверливание отверстий для устранения дисбаланса. Технологическая база – отверстие. Станок балансировочный.

060 Шлифовальная. Шлифование ступиц (если требуется по чертежу). Технологическая база – отверстие. Станок круглошлифовальный.

065 Моечная.

070 Контрольная.

3.3.5. Рекомендации по обработке типовых элементов

Центральное отверстие.

Обработку центрального отверстия при отсутствии его в заготовке начинают со сверления. Обработку отверстий диаметром до 25...40 мм осуществляют спиральными сверлами за один переход, при обработке отверстий больших диаметров (до 80 мм) – за два и более перехода сверлением и рассверливанием. Обычную точность по 7-му качеству получают растачиванием (поэтому зенкеры и развертки используют редко). При высоких требованиях к основному отверстию могут применяться дополнительно операции:

а) отделочное растачивание:

Режимы обработки: $t = 0,05...0,3$ мм; $S = 0,02...0,12$ мм/об; $V = 1\ 000$ м/мин.

Точность обработки: некруглость не более 0,001 мм; нецилиндричность – 0,003 мм (на 200 мм длины); точность 5...6 качества.

Материал режущей части: – алмазные резцы, эльбор, композит и пр.

Станки – координатно-расточные, специальные агрегатные.

б) **протягивание** применяется в массовом и крупносерийном производстве. Производительнее развертывания в 8–9 раз (рис. 64).

Скорость резания $V = 1,5...20$ м/мин. Точность обработки – 7 качество, шероховатость – $Ra = 0,4$ мкм.

в) внутреннее шлифование (рис. 65):

Режимы обработки:

- $V_{кр} - 20...40$ м/с;
- $V_{заг} - 15...25$ м/мин;

- $S_{\text{прод}}$ – от 0,5...6 м/мин (черновые проходы) до 0,25...3 м/мин (чистовые проходы);
- $t_{\text{вр}}$ – от 10...30 мкм (черновые проходы) до 2,5...5 мкм (чистовые проходы).

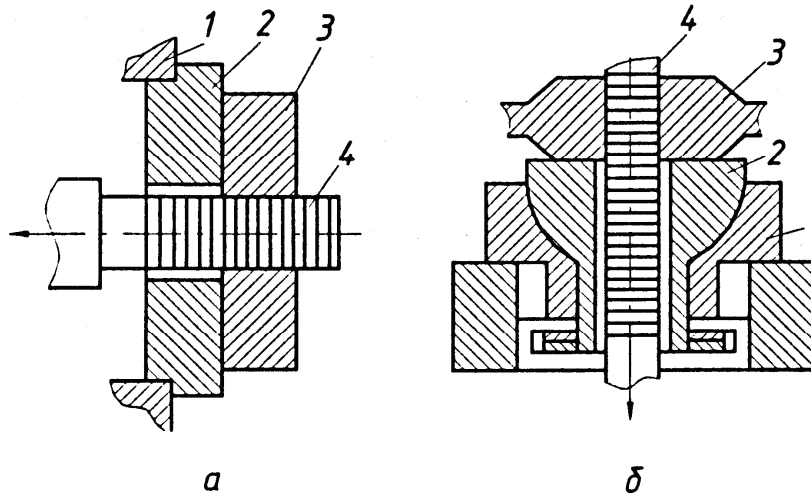


Рис. 64. Схемы протягивания отверстий:
a – горизонтальное; *б* – вертикальное; 1 – жесткая опора;
 2 – шаровая опора; 3 – заготовка; 4 – протяжка

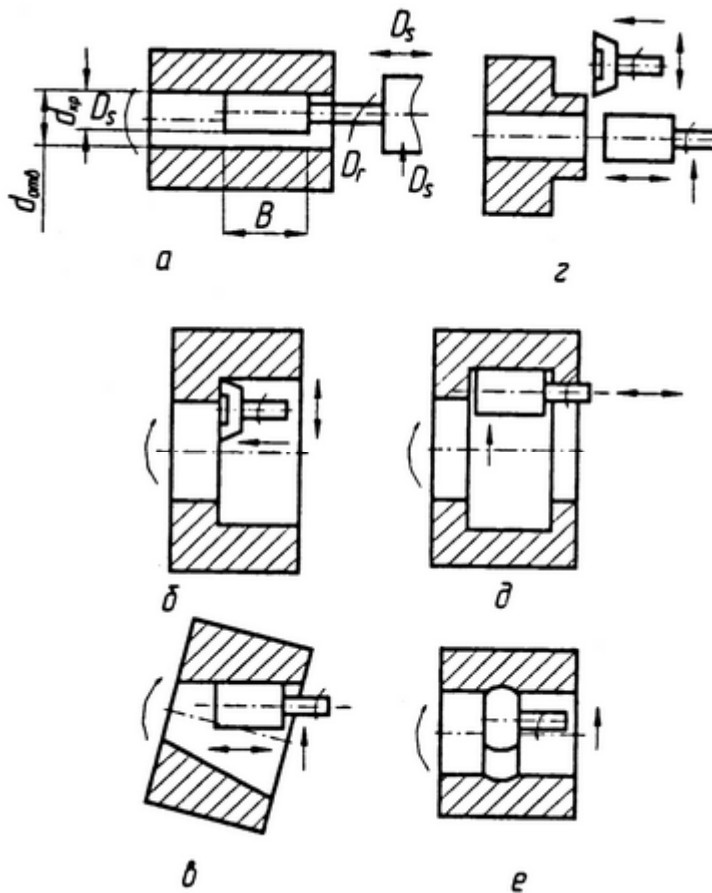


Рис. 65. Примеры внутреннего шлифования

Точность обработки – 7 квалитет, отклонение формы – 1...2 мкм.

г) **хонингование:**

Припуск на обработку $t = 0,05...0,07$ мм, шероховатость – $Ra = 0,2...0,06$ мкм, точность обработки – 2...5 квалитет.

Обычно на станках с ЧПУ можно получить точность наружных поверхностей и отверстий по 7-му квалитету. При автоматической подналадке – по 6-му квалитету. Шероховатость до

$Ra = 0,2$ мкм. **Сверлильная обработка дополнительных отверстий.**

В рассматриваемых деталях обычно имеются внецентровые присоединительные отверстия различной формы. Их также целесообразно обрабатывать на сверлильных или фрезерно-сверлильных станках с ЧПУ.

В зависимости от формы отверстия, диаметра отверстия, допуска на межцентровое расстояние в пособии [5] предлагается 13 комплексов технологических переходов и, соответственно, **типовые маршруты** обработки таких отверстий.

Возможны два варианта работы РИ:

- **параллельный**, т.е. каждый РИ обрабатывает все отверстия, относящиеся к нему, а затем происходит смена инструмента;

- **последовательный**, когда каждое отверстие обрабатывается полностью, затем происходит переход к следующему отверстию.

При жестких межцентровых допусках предпочтительнее первый вариант. Поэтому первые операции (центрирование) проводят по первому варианту, а последние (развертывание) по второму варианту, так как в этом случае нет погрешности перемещения стола станка.

3.4. Технология изготовления зубчатых колес

3.4.1. Характеристика зубчатых колес

В современных машинах широко применяют зубчатые передачи. Различают силовые зубчатые передачи, предназначенные

для передачи крутящего момента с изменением частоты вращения валов, и кинематические передачи, служащие для передачи вращательного движения между валами при относительно небольших крутящих моментах.

Наибольшее распространение получили цилиндрические, конические и червячные передачи (рис. 66).

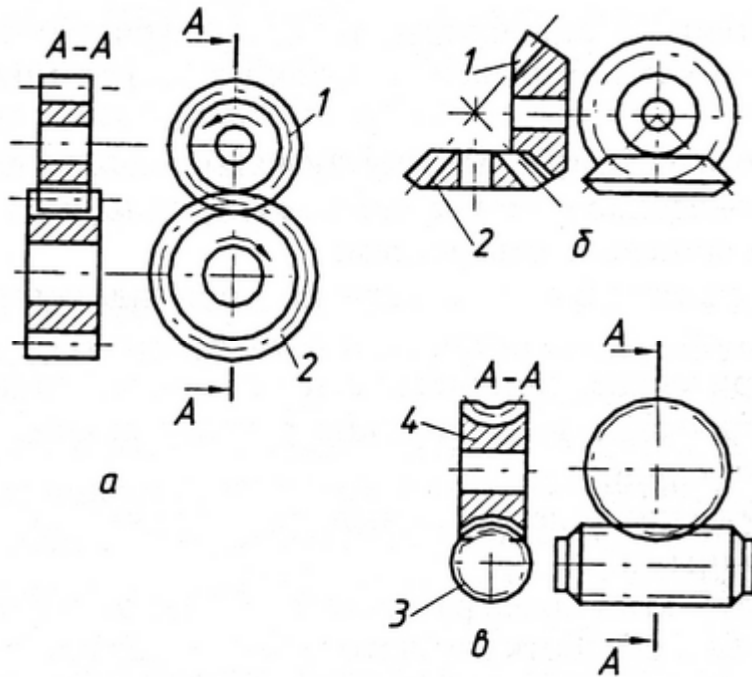


Рис. 66. Виды зубчатых передач:

a – цилиндрическая; *б* – коническая; *в* – червячная; *1* – шестерня;
2 – зубчатое колесо; *3* – червяк; *4* – червячное колесо

Технические условия на изготовление зубчатых колес определяются ГОСТами:

- ГОСТ 1643-81 – цилиндрические колеса;
- ГОСТ 1758-81 – конические колеса;
- ГОСТ 3675-81 – червячные колеса.

Эти ГОСТы устанавливают 12 степеней точности зубчатых передач (1-я – самая точная, 12-я – самая грубая).

Примеры:	Степень точности
Зубчатые передачи делительных механизмов, кроме гитар настроек, цепей деления, дифференциалов	5
Зубчатые колеса, входящие в делительные цепи высокоточных станков, зубчатые колеса шпиндельных пар, сменные колеса, гитары, дифференциалы	6
Сменные колеса узлов настройки главного движения, коробок подач	7

Для каждой степени точности предусматривают следующие нормы:

- кинематической точности колеса, определяющие полную погрешность угла поворота зубчатых колес за один оборот;
- плавности работы колес, определяющие составляющую полной погрешности угла поворота зубчатого колеса, многократно повторяющейся за оборот колеса;
- контакта зубьев, определяющие отклонение относительных размеров пятна контакта сопряженных зубьев в передаче.

Независимо от степени точности колес установлены нормы бокового зазора (виды сопряжения зубчатых колес). Существуют шесть видов сопряжений зубчатых колес в передаче, которые в порядке убывания гарантированного бокового зазора обозначаются буквами *A, B, C, D, E, H*, и восемь видов допуска (*T_{jn}*) на боковой зазор: *x, y, z, a, b, c, d, h*. В соответствии со стандартом, точность зубчатых колес может быть определена как комплексными, так и дифференцированными показателями.

Классификация зубчатых колес представлена на рис. 67.

Обработка зубчатых колес разделяется на два этапа: обработка до нарезания зубьев и обработка зубчатого венца. Задачи первого этапа соответствуют в основном аналогичным задачам, решаемым при обработке деталей классов: диски (зубчатое колесо плоское без ступицы), втулки (со ступицей) или валов (вал-шестерня). Операции второго этапа обычно сочетают с отделочными операциями обработки корпуса колеса. На построение технологического процесса обработки зубчатых колес влияют следующие факторы: форма зубчатого колеса; форма и расположе-

ние зубчатого венца и количество венцов; степень точности колеса; методы контроля зубчатых колес; материал колеса; наличие и вид термообработки; габаритные размеры; объем выпуска.



Рис. 67. Классификация зубчатых колес

Технологические задачи.

Точность размеров. Самым точным элементом зубчатого колеса является отверстие, которое изготавливается по *H6* для зубчатых колес 5-й степени точности и по *H7* для зубчатых колес 6, 7, 8-й степени точности.

Точность формы. В большинстве случаев особых требований к точности формы поверхностей не предъявляется.

Точность взаимного расположения. Основными базами для зубонарезания являются отверстие и торец, поэтому к ним предъявляются высокие требования. Например, для колеса 6-й степени точности:

- биение торца (на диаметре 50 мм) перед зубонарезанием – 15 мкм;
- биение торца перед шлифованием зубьев – 5 мкм.

Твердость рабочих поверхностей. В результате термической обработки поверхностная твердость зубьев цементируемых зубчатых колес должна быть в пределах HRC 45...60 при глубине слоя цементации 1-2 мм. При цианировании твердость HRC 42...53, глубина слоя должна быть в пределах 0,5...0,8 мм.

Твердость незакаливаемых поверхностей обычно находится в пределах HB 180...270.

Наибольшее влияние на протяженность технологического маршрута оказывает степень точности колеса. При изготовлении высокоточных колес (6-й, 5-й и выше степеней точности) механическая обработка должна чередоваться с операциями термической обработки для снятия внутренних напряжений, а количество отделочных операций технологических баз и зубчатого венца значительно возрастает.

3.4.2. Материалы и заготовки

В зависимости от условий эксплуатации применяют углеродистые и легированные стали, чугун, цветные металлы и т.д.

Из сталей широко используют:

- **12ХНЗА, 20Х, 25ХГТ** – нитроцементация с последующей закалкой;
- **18ХГТ** – цементация и закалка;
- **40Х, 40ХФА, 45** – объемная закалка или закалка ТВЧ.

Для колес высокой точности используют:

- промежуточную термообработку для снятия остаточных напряжений;
- мелкозернистые стали (балл карбидной неоднородности 5...6);
- тщательно проковывают заготовку.

Заготовки.

Различают основные виды заготовок зубчатых колес при разных конструкциях и серийности выпуска: заготовка из проката; поковка, выполненная свободной ковкой на ковочном молоте; штампованная заготовка в подкладных штампах, выполненных на молотах или прессах; штампованная заготовка в закрепленных

штампах, выполненных на молотах, прессах и горизонтально-ковочных машинах.

Заготовки, получаемые **свободной ковкой** на молотах, по конфигурации не соответствуют форме готовой детали, но структура металла благодаря ковке улучшается по сравнению с заготовкой, отрезанной пилой от прутка.

Штамповка заготовок в **закрытых штампах** имеет ряд преимуществ: снижается расход металла из-за отсутствия облоя, форма заготовки ближе к готовой детали, снижается себестоимость, экономия металла составляет от 10 до 30 %. Однако отмечается повышенный расход штампов.

Штамповка на прессах имеет большое преимущество перед штамповкой на молотах: получается точная штампованная заготовка, припуски и напуски меньше на 30 %, по конфигурации заготовка ближе к готовой детали. На прессах можно штамповать с прошиванием отверстия.

Штамповкой на горизонтально-ковочных машинах изготавливают заготовки зубчатых колес с хвостовиком или с отверстием.

Различные методы получения заготовки обеспечивают разную точность (табл. 2).

Таблица 2

Точность различных методов получения заготовки

Метод изготовления	Качество поверхности	Колебания размеров поковки, мм
Свободная ковка	Очень шероховатая	2–10
Штамповка:		
а) в подкладных штампах:		
- ковочный молот	Шероховатая	1,5–3,5
- фрикционный пресс	Шероховатая	1,5–3,5
- гидравлический пресс	Шероховатая	1,5–3,5
б) в закрепленных штампах		
- штамповочный молот	Шероховатая	0,5–3,0
- вертикально-штамповочный механический пресс	Менее шероховатая	0,4–2,0
- горизонтально-ковочная машина	Менее шероховатая	0,4–2,5
Горячая калибровка на прессе	Гладкая	0,1–0,4

3.4.3. Технологический процесс обработки зубчатых колес

3.4.3.1. Общие положения

Выбор базовых поверхностей зависит от конструктивных форм зубчатых колес и технических требований. У колес со ступицей (одновенцовых и многовенцовых) с достаточной длиной центрального базового отверстия ($L/D > 1$) в качестве технологических баз используют двойную направляющую поверхность отверстия и опорную базу в осевом направлении – поверхность торца.

У одновенцовых колес типа дисков ($L/D < 1$) длина поверхности отверстия недостаточна для образования двойной направляющей базы. Поэтому после обработки отверстия и торца установочной базой для последующих операций служит торец, а поверхность отверстия – двойной опорной базой. У валов-шестерен в качестве технологических баз используют, как правило, поверхности центровых отверстий.

На первых операциях черновыми технологическими базами являются наружные необработанные "черные" поверхности. После обработки отверстия и торца их принимают в качестве технологической базы на большинстве операций. Колеса с нарезанием зубьев после упрочняющей термообработки при шлифовании отверстия и торца (исправление технологических баз) базируют по эвольвентной боковой поверхности зубьев для обеспечения наибольшей соосности начальной окружности и посадочного отверстия.

Для обеспечения наилучшей концентричности поверхностей вращения колеса применяют следующие варианты базирования. При обработке штампованных и литых заготовок на токарных станках за одну установку их закрепляют в кулачках патрона за черную поверхность ступицы или черную внутреннюю поверхность обода. При обработке за две установки заготовку сначала крепят за черную поверхность обода и обрабатывают отверстие, а при второй установке заготовки на оправку обрабатывают поверхность обода и другие поверхности колеса.

3.4.3.2. Типовые маршруты изготовления зубчатых колес

Рассмотрим типовой технологический процесс на примере изготовления зубчатого колеса со ступицей (рис. 68).

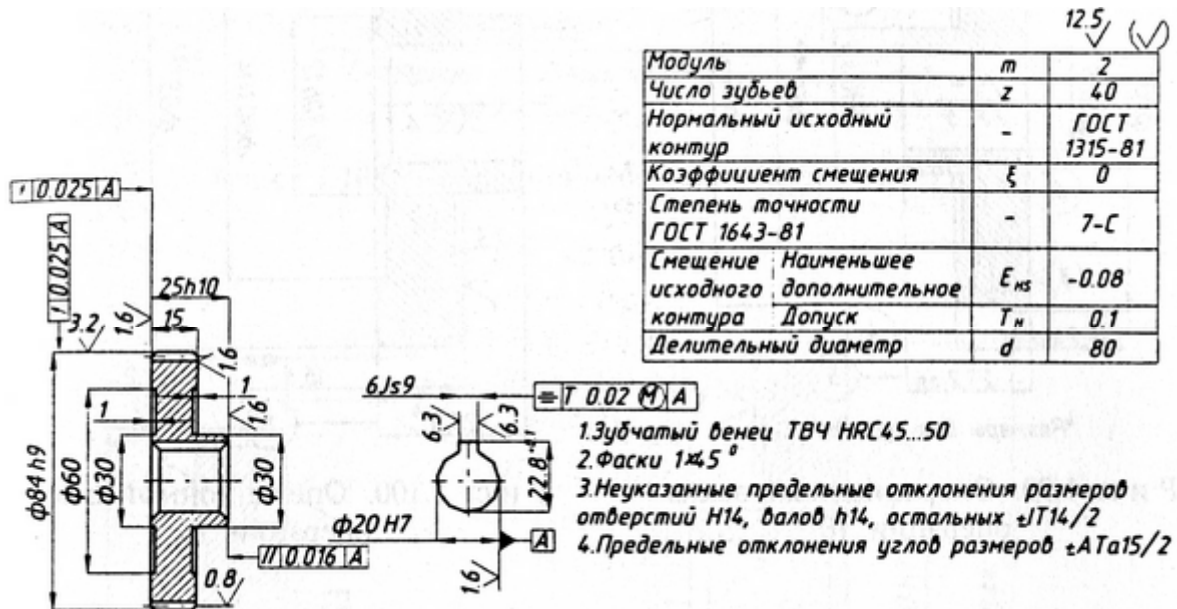


Рис. 68. Цилиндрическое зубчатое колесо со ступицей

00. Заготовительная. Штамповка на горизонтально-ковочной машине. Размеры заготовки $\varnothing 90 \times 30$ мм.

05. Токарная. Станок токарный с ЧПУ (рис. 69). Подрезать торцы 5 и 4 начерно. Точить поверхность 1 до кулачка патрона. Расточить отверстие 6 на проход начерно. Точить поверхности 2 и 3 начерно. Точить фаски.

10. Токарная. Станок токарный с ЧПУ (рис. 70). Подрезать торец 1. Точить поверхность 4 на оставшейся части начерно. Точить поверхности 2 и 3. Расточить фаски.

15. Термическая. Нормализация (для измельчения структуры и уменьшения деформации при последующих термообработках): нагрев до (960 ± 10) °С, выдержка в течение 1,5–2 ч, охлаждение на воздухе.

20. Токарная. Станок токарный с ЧПУ (рис. 71). Подрезать торец 2 под шлифование. Расточить отверстие 1 под шлифование. Расточить и точить фаски.

25. Токарная. Станок токарный с ЧПУ (рис. 72). Подрезать торец 1 начисто. Подрезать торец 2 под шлифование. Расточить и точить фаски.

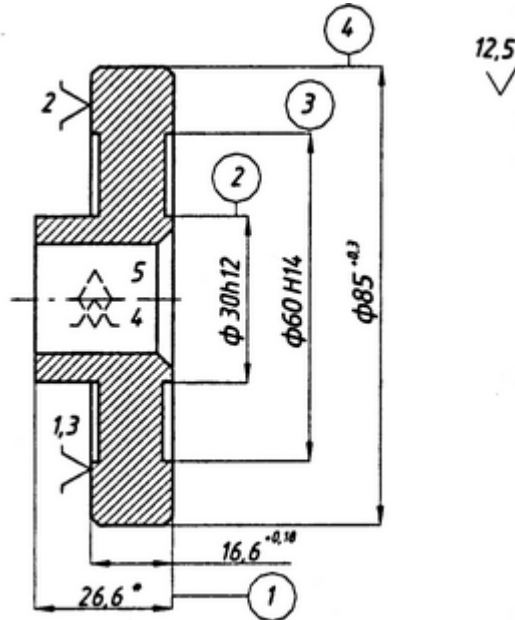


Рис. 69. Операционный эскиз к операции 05

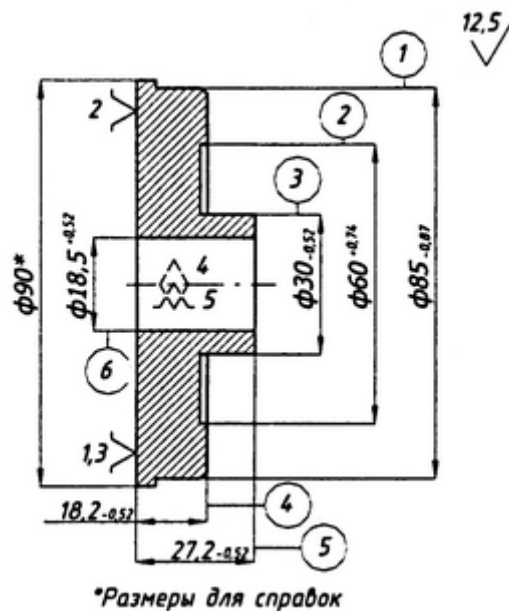


Рис. 70. Операционный эскиз к операции 10

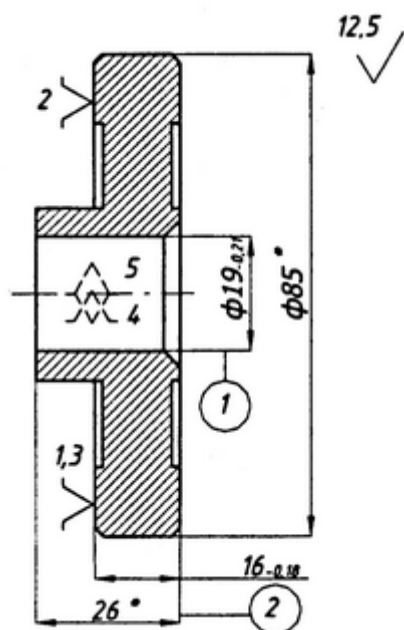


Рис. 71. Операционный эскиз к операции 20

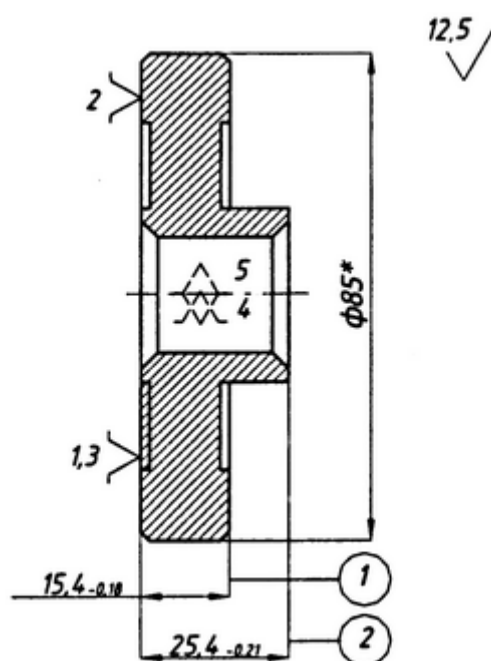


Рис. 72. Операционный эскиз к операции 25

30. Зубофрезерная. Зубофрезерный с ЧПУ (рис. 73). Фрезеровать 40 зубьев ($m = 2$) под шлифование, оставлять припуск 0,3-0,4 мм на толщину зуба.



Рис. 73. Операционный эскиз к операции 30

35. Слесарная. Полуавтомат для снятия заусенцев. Зачистить заусенцы на торцах зубьев.

40. Термическая. Цементация, закалка зубьев, отпуск. Глубина цементируемого и нитроцементируемого слоя 1,5...1,8 мм, температура для цементации $(930 \pm 10)^\circ\text{C}$, для нитроцементации – $(870 \pm 10)^\circ\text{C}$. Закалка в масле (температура $60 \dots 80^\circ\text{C}$) или закалка с нагревом ТВЧ, охлаждающая среда – эмульсия, масло промышленное 12 или 20, отпуск в электропечи или масляной электропечи (температура $(190 \pm 10)^\circ\text{C}$, выдержка – 2 ч).

45. Круглошлифовальная. Станок торцевокруглошлифовальный (рис. 74). Шлифовать поверхности 1, 2 начисто.

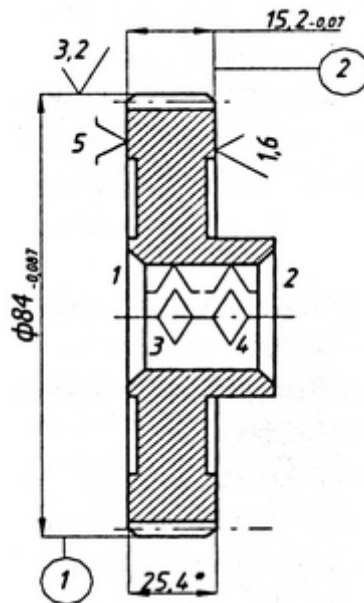


Рис. 74. Операционный эскиз к операции 45

50. Внутришлифовальная. Станок внутришлифовальный (рис. 75). Шлифовать поверхности 1 и 2 начисто.

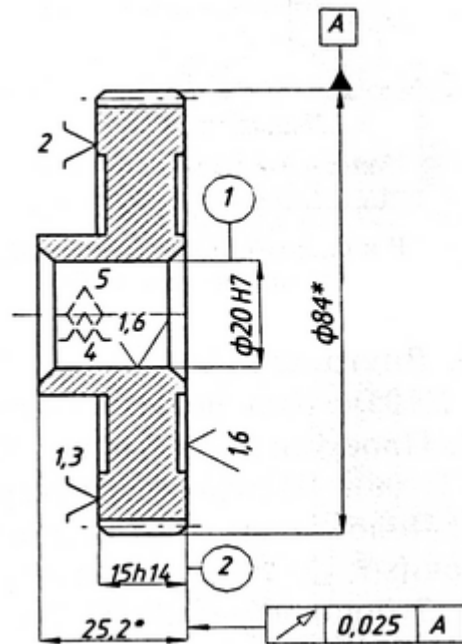


Рис. 75. Операционный эскиз к операции 50

55. Долбежная. Станок долбежный (рис. 76). Долбить шпоночный паз 1 (операция может выполняться после операции 45).

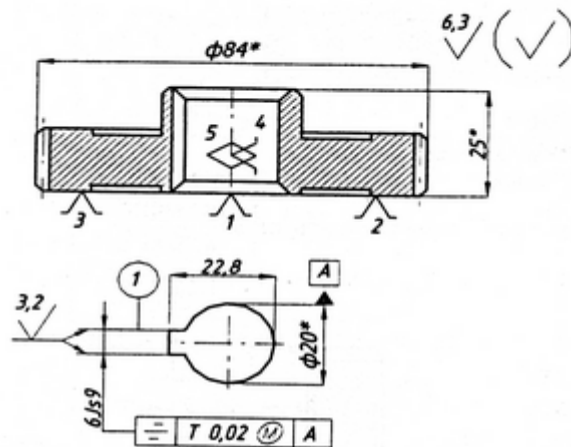


Рис. 76. Операционный эскиз к операции 55

60. Зубошлифовальная. Зубошлифовальный с ЧПУ (рис. 77). Шлифовать начерно и начисто 40 зубьев ($m = 2$).

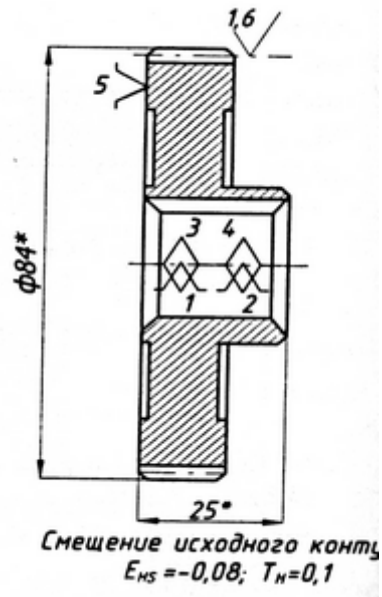


Рис. 77. Операционный эскиз к операции 60

3.4.4. Обработка зубчатых поверхностей

1. Методом копирования.

В серийном производстве – **дисковыми** или **концевыми модульными фрезами** на универсальных фрезерных станках с использованием делительной головки. Получают колеса 9-й, 10-й степени точности и грубее. Дисковые фрезы для $m < 16$, пальцевые – более крупные (рис. 78).

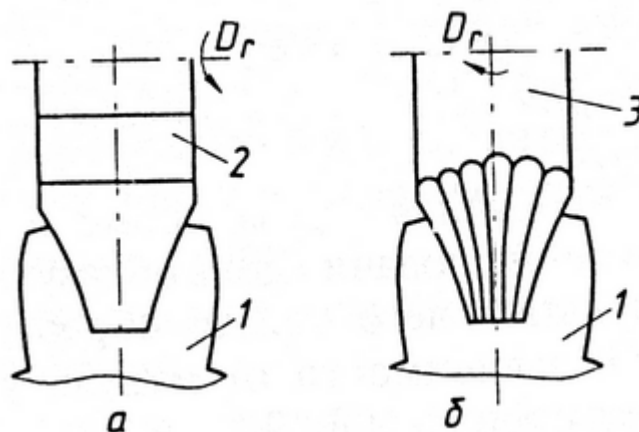


Рис. 78. Схемы фрезерования зубчатых колес методом копирования:

a – дисковой фрезой; b – концевой фрезой; 1 – заготовка; 2 – дисковая фреза; 3 – концевая фреза

В массовом производстве применяют **зубопротягивание** – обычно для внутреннего зацепления. Число режущих зубьев в два раза меньше, нужен поворот заготовки на один зуб. Получают профиль до 7-й степени точности.

2. Методом обката.

Самым распространенным способом формообразования зубьев цилиндрических колес является **зубофрезерование** модульными червячными фрезами на зубофрезерном станке (рис. 79). Способ универсален (фрезой одного модуля можно нарезать зубья с разным их числом), достаточно производителен и обеспечивает 7...8 степень точности зубчатого венца. Для обработки колес 7-й степени точности применяются прецизионные червячные фрезы класса АА, а для 8-й и 9-й степени точности фрезы соответственно классов точности А и В. Зубчатые колеса с модулем до 2 нарезаются за один проход, с модулем 2...3 – за два прохода, а с модулем 4...8 – за три прохода.

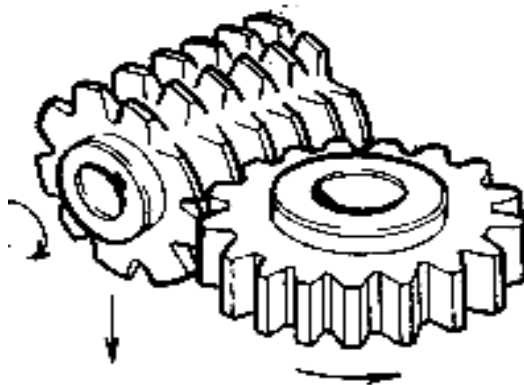


Рис. 79. Нарезание зубьев червячной фрезой

Зубофрезерный станок с ЧПУ обладает большой гибкостью, сам формирует циклы обработки на основе обобщенного цикла. На рис. 80 показаны циклы для обработки различных типов колес. Точка *1* – начало координат *X* и *Y*, остальные точки опорные и вводятся в программу.

Конкурирующим с зубофрезерованием является способ **зубодолбления** модульными долбяками (рис. 81). Применяется для обработки цилиндрических прямозубых и косозубых колес внеш-

него и внутреннего зацепления, зубчатых секторов, блочных колес с минимальным расстоянием венцов 3 мм и твердостью HRC 24...28. Мелкомодульные колеса ($m < 2,5$ мм) обрабатываются за один проход, крупномодульные за 2-3 прохода. Обеспечивается 7...8 степень точности, Ra 2,5...1,25 мкм.

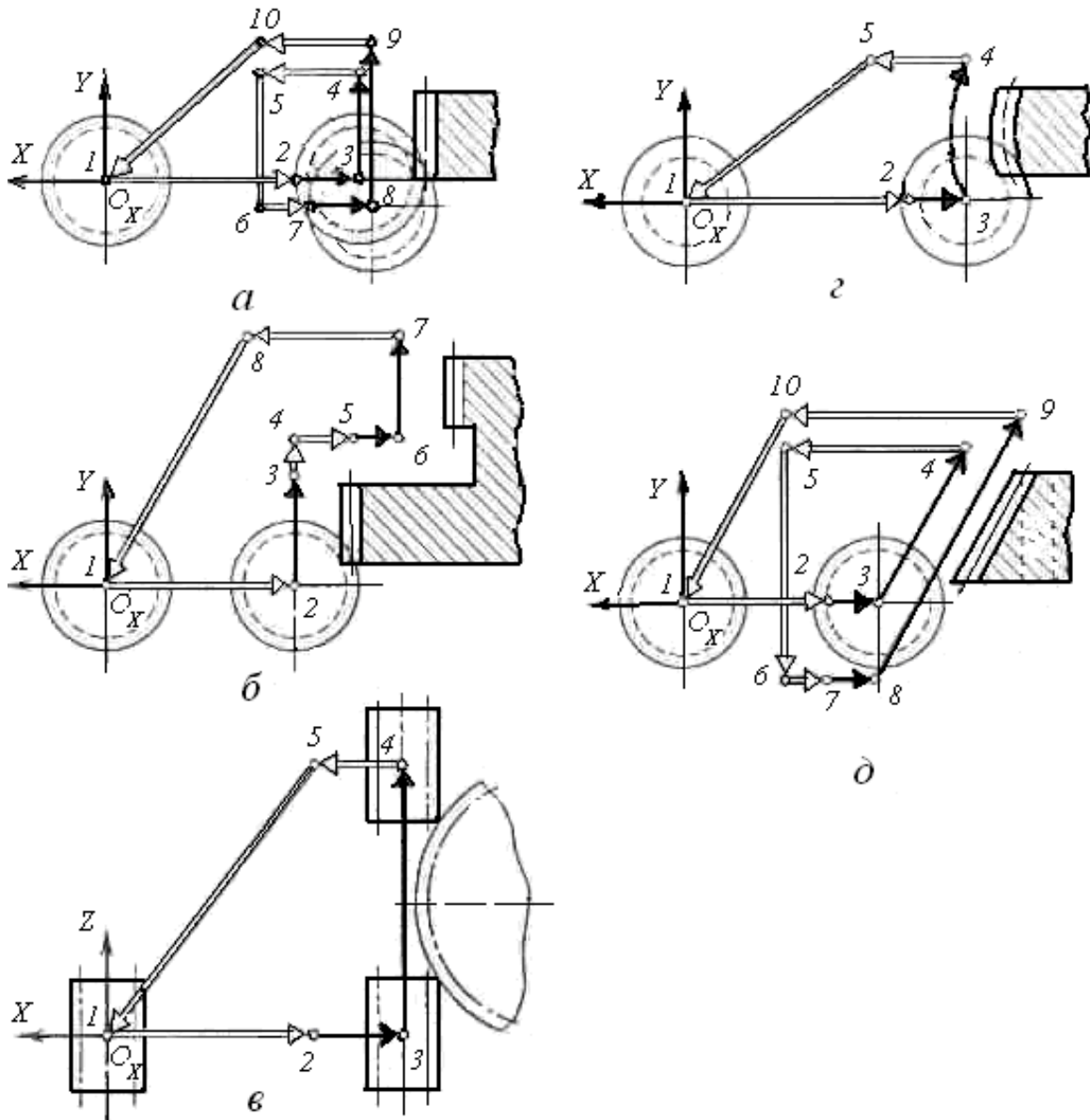


Рис. 80. Технологические циклы для нарезания зубчатых колес червячной фрезой:

a – обобщенный цикл; *б* – обработка двухвенцового зубчатого колеса; *в* – обработка червячного колеса с тангенциальной подачей; *г* – обработка колеса с бочкообразным зубом; *д* – обработка конического колеса

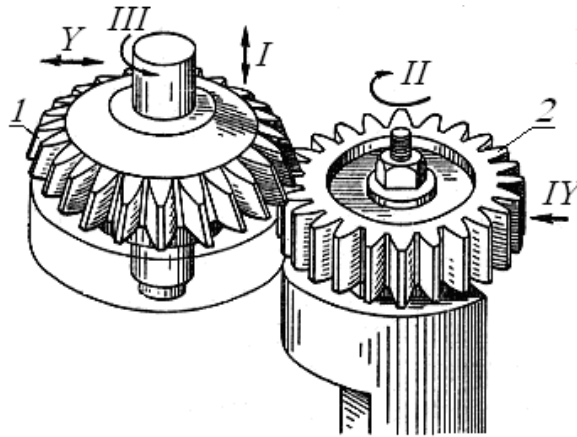


Рис. 81. Схема нарезания зубчатых колес долбяком:
 1 – долбяк; 2 – заготовка

Принцип нарезания зубьев заключается в следующем. Долбяк *1* (см. рис. 81) получает возвратно-поступательное движение (по стрелке *I*) (движение скорости резания) и медленное вращательное движение (по стрелке *III*), согласованное с вращением заготовки (по стрелке *II*) (круговая подача). Заготовке сообщают радиальное перемещение по стрелке *IV* в период врезания (радиальная подача). Для предотвращения трения задних поверхностей зубьев долбяка о заготовку при обратном его ходе долбяк (или заготовка) получает радиальный отвод по стрелке *V*.

3. Накатывание зубьев.

Зубья цилиндрических зубчатых колес можно накатывать по следующим схемам. Заготовка *1* (рис. 82, *a*) прокатывается между двумя зубчатыми колесами-инструментами *2*, имеющими коническую приемную часть. Инструментальным шпинделям сообщается вращательное движение, а заготовке – осевая подача. Инструментальные шпиндели устанавливают относительно заготовки на размер, равный межосевому расстоянию.

Накатывание зубьев по схеме, приведенной на рис. 82, *б*, происходит сразу по всей длине. Оси инструмента *2* и заготовки *1* в процессе обработки сближаются до заданного межосевого расстояния. На рис. 82, *в* показана схема накатывания зубьев на заготовке *1* с помощью инструментальных реек *2*. Накатка происходит за один рабочий ход.

Мелкомодульные колеса с $m \leq 1,5$ мм накатывают в холодном состоянии, а при $m > 1,5$ мм – в горячем состоянии. Накаты-

вание зубьев колес повышает их долговечность. Это объясняется тем, что при таком методе волокна в материале не прорезаются и поверхность зубьев наклепывается.

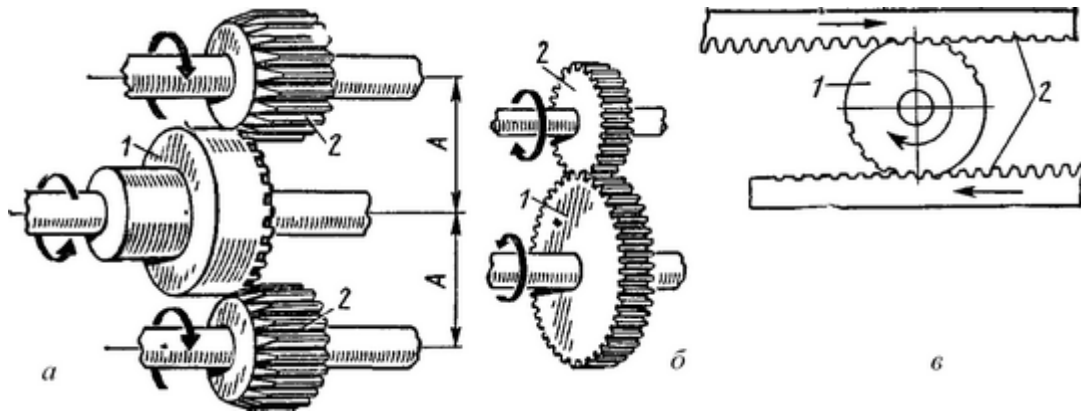


Рис. 82. Схема накатывания зубьев колес
(обозначения в тексте)

3.4.4.1. Отделочные операции

Шевингование – чистовая обработка зубьев незакаленных цилиндрических зубчатых колес (твердость обычно не более HRC 40), осуществляемая шевером (рис. 83).

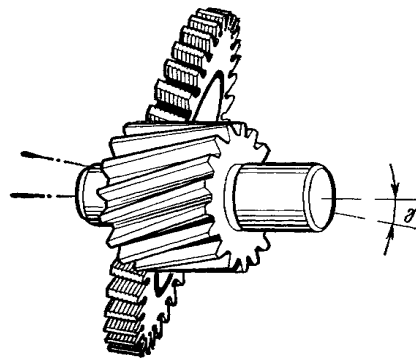


Рис. 83. Схема шевингования

Шевер имеет форму зубчатого колеса или зубчатой рейки. На поверхности зубьев шевера имеются канавки от головки до ножки.

Шевингование зубчатых колес заключается в срезании весьма тонких волосовидных стружек толщиной 0,05...0,01 мм острыми кромками канавок шевера во время движения обкатки

обрабатываемого колеса и инструмента и возникающего при этом относительного скольжения профилей зацепляющихся зубьев. Модуль колес до 6 мм, диаметр до 320 мм, припуск 0,1...0,25 мм по толщине зуба, время на один зуб 1,5...2,5 с.

Обычно в процессе шевингования точность зубчатых колес повышается на одну степень, реже – на две.

Шлифование зубьев зубчатых колес – наиболее надежный метод отделочной обработки, обеспечивающий высокую точность, как правило, закаленных зубчатых колес. Шлифование зубьев производят на различных зубошлифовальных станках как методом копирования, так и методом обкатки.

На станках, работающих по методу копирования, зубчатые колеса шлифуют профилированными кругами (рис. 84, *а*). Они предназначены главным образом для шлифования прямозубых колес. Ось заготовки в этих станках расположена горизонтально.

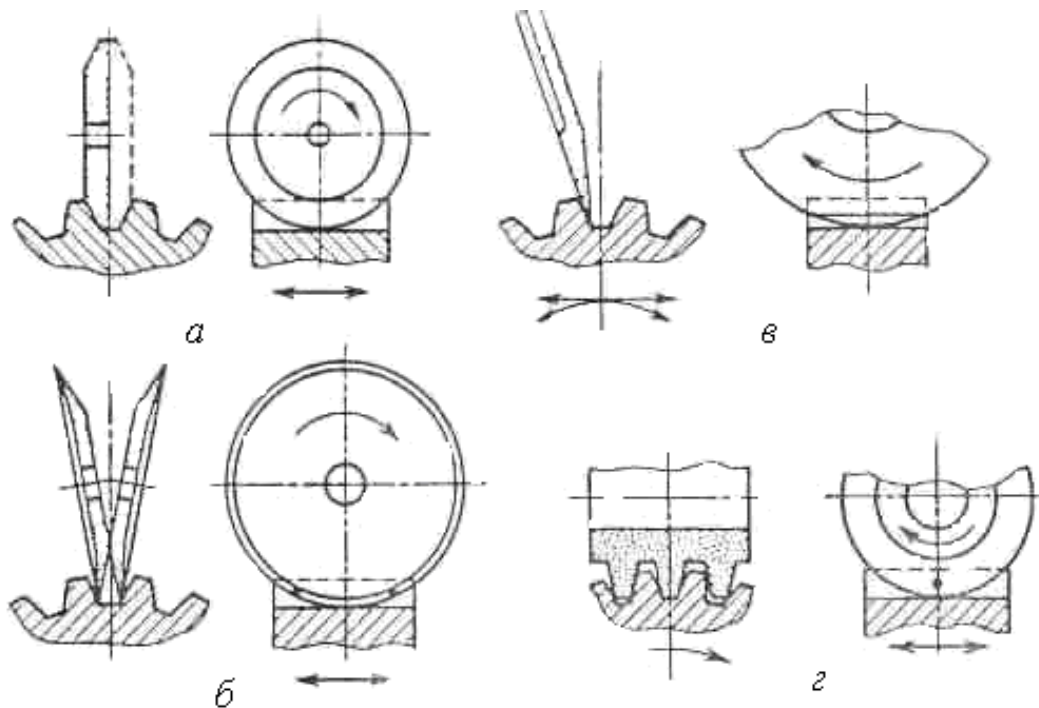


Рис. 84. Методы шлифования зубьев:

а – профильным кругом; *б* – двумя дисковыми кругами методом обката; *в* – одним дисковым кругом методом обката; *г* – червячным кругом

Метод обкатки осуществляется на зубошлифовальных станках, которые точны и универсальны в наладке, но производительность которых сравнительно невелика и зависит от принципа работы и типа применяемых шлифовальных кругов.

На практике существуют и другие методы шлифования цилиндрических зубчатых колес: дисковым кругом (рис. 84, в); двумя дисковыми кругами (рис. 84, б); червячным кругом (рис. 84, з) и др.

Наиболее производительными методами являются шлифование двумя дисковыми кругами и особенно шлифование на станках червячными кругами, которые обеспечивают точность до 5-й степени и параметр шероховатости поверхности $Ra < 0,32$ мкм.

Хонингование применяют для чистовой отделки зубьев, как правило, закаленных цилиндрических колес внешнего и внутреннего зацеплений. Процесс осуществляется на зубохонинговальных станках с помощью зубчатого абразивного инструмента – хона.

Зубчатые хоны представляют собой прямозубые или косозубые колеса, обычно состоящие из стальной ступицы и абразивного венца того же модуля, что и обрабатываемое колесо. Частота вращения хона $180...200$ мин⁻¹, скорость подачи стола $180...210$ мм/мин. Время хонингования зубчатого колеса $30...60$ с.

Хонингование позволяет уменьшить параметры шероховатости и тем самым повысить долговечность зубчатой передачи. Достигается 6...7 степень точности, $Ra = 0,63...0,16$ мкм.

К отделочным методам относятся также: **обкатка** зубьев и **прикатка** (зацепление с эталонным колесом); **притирка** (искусственное изнашивание рабочей поверхности зубьев притирами с применением абразивной пасты); **приработка** (притирание пары зубчатых колес без притира) и др.

Зубозакругление. В тех случаях, когда зубчатые колеса используют в механизмах в качестве переключаемых колес, необходимо, чтобы торцы зубьев этих колес были округлены. Закругления, снятие фасок и заусенцев можно выполнять концевой

(пальцевой) фрезой с осью вращения в плоскости, параллельной или перпендикулярной к плоскости торца зубчатого колеса, охватывающей фасонной (трубчатой) фрезой, резцовой головкой, фасонной червячной фрезой, фасонной дисковой фрезой, абразивным инструментом.

При закруглении торцов зубьев дисковой фасонной фрезой (рис. 85) торцы зубьев получают бочкообразную форму. Цикл обработки одного зуба состоит из следующих движений: врезания в торец колеса на полную глубину закругления (участок a); обработки поверхности торца вдоль высоты зуба колеса по радиусу r , осуществляемой во время перемещения центра фрезы по дуге b ; быстрого отвода фрезы от обрабатываемого колеса (участок c); возврата фрезы в исходное положение по дуге d с одновременным поворотом заготовки для обработки следующего зуба. Метод производительный и обеспечивает хорошее качество поверхности.

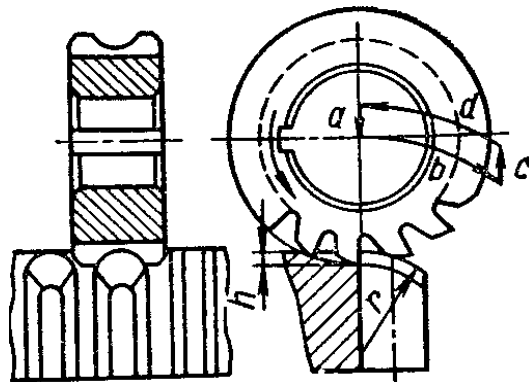


Рис. 85. Схема закругления торцов зубьев дисковой фасонной фрезой

3.4.5. Особенности обработки конических и червячных колес

3.4.5.1. Конические колеса

Конструктивно применяются три типа колес:

- колеса со ступицей $l/d > 1$;
- колеса венцового типа;
- колеса-валы.

Пример ТП колеса первого типа со шлицевым отверстием

1. Сверление и растачивание отверстия и подрезка торца.

2. Протягивание отверстия и шлицев.
3. Черновое обтачивание наружных поверхностей на оправке.
4. Чистовое обтачивание наружных поверхностей на оправке.
5. Предварительное фрезерование зубьев.
6. Чистовое нарезание зубьев.
7. Контроль на обкатном станке.
8. Термообработка.
9. Шлифование отверстия и торца.
10. Шлифование зубьев.
11. Промывка и контроль.

Методы нарезания конических зубьев.

Нарезание можно производить фасонным инструментом методом копирования, остроконечным резцом по шаблону и инструментом с прямолинейными режущими кромками методом обкатки (рис. 86). При нарезании зубьев конических колес дисковой модульной фрезой (рис. 86, *а*) используют следующие движения: *I* – вращение фрезы (главное движение); *II* – подача фрезы вдоль зуба; *III* – быстрый возврат фрезы в исходное положение; *IV* – деление (поворот заготовки на зуб). Этот способ применяют при нарезании небольших зубчатых колес на универсальных фрезерных станках в основном для чернового нарезания с последующей обработкой на зубострогальных станках.

При обработке по шаблону (рис. 86, *б*) резец *I* совершает возвратно-поступательные движения (главное) *I* по направляющим инструментальной головки, которая перемещается относительно заготовки по шаблону 2, вращаясь вокруг осей O_1O_1 и O_2O_2 (движение подачи *II*). После завершения обработки профиля зуба происходит быстрый отвод инструмента в исходное положение (движение *III*) и деление (движение *IV*). Таким методом нарезают крупные прямозубые конические колеса с длиной образующей начального конуса примерно 250–2500 мм.

Наиболее точным и производительным является метод обкатки. Прямозубые конические колеса методом обкатки (рис. 86, в) можно нарезать двумя резцами с прямолинейными режущими кромками. Основными движениями в этом случае являются: движение скорости резания I – возвратно-поступательное движение резцов; движение обкатки – сложное движение, состоящее из вращения II резцов вокруг оси O_1 и вращения III заготовки, согласованного с вращением резцов. Кроме этого, периодически происходит деление (поворот заготовки на один зуб). Этим методом нарезают колеса модулем до 20 мм и длиной образующей начального конуса до 650 мм. Точность – 7...8 степень, $Ra = 1,25...2,5$ мкм.

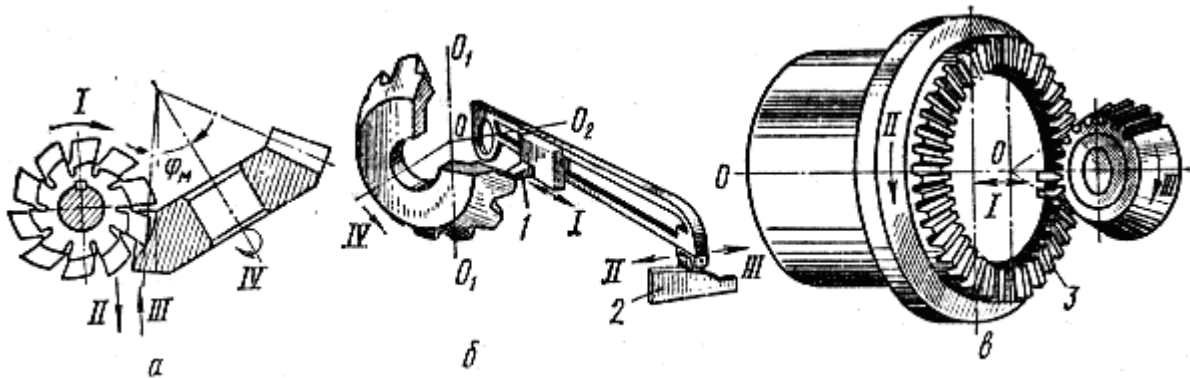


Рис. 86. Схема обработки прямозубых конических колес

Наиболее точным и производительным является метод обкатки. Прямозубые конические колеса методом обкатки (рис. 86, в) можно нарезать двумя резцами с прямолинейными режущими кромками. Основными движениями в этом случае являются движение скорости резания I – возвратно-поступательное движение резцов; движение обкатки – сложное движение, состоящее из вращения II резцов вокруг оси O_1 и вращения III заготовки, согласованного с вращением резцов. Кроме этого, периодически происходит деление (поворот заготовки на один зуб). Этим методом нарезают колеса модулем до 20 мм и длиной образующей начального конуса до 650 мм. Точность – 7...8 степень, $Ra = 1,25...2,5$ мкм.

3.4.5.2. Червячные колеса

Зубонарезание осуществляется только методом обката на зубофрезерных станках. Существует три метода:

- с радиальной подачей (более производителен, но менее точен);
- с тангенциальной подачей (более точен, достигается 7...8 степень точности, $Ra = 2,5 \dots 1,25$ мкм);
- комбинированный.

Червячная фреза по форме имитирует червяк (с заходным конусом). Для отделки используют шевингование червячным шевером (получают 6-ю степень точности).

3.4.6. Технология изготовления рычагов

3.4.6.1. Характеристика рычагов

К деталям класса рычагов относятся собственно рычаги, тяги, серьги, вилки, балансиры, шатуны.

Рычаги являются звеньями системы машин, аппаратов, приборов, приспособлений. Совершая качательное или вращательное движение, рычаги передают необходимые силы и движения сопряженным деталям, заставляя их выполнять требуемые перемещения с надлежащей скоростью. В других случаях рычаги, например прихваты, остаются неподвижными и фиксируют относительное положение сопряженных деталей.

Детали класса рычагов имеют два отверстия или больше, оси которых расположены параллельно или под прямым углом. Тело рычагов представляет собой стержень, не обладающий достаточной жесткостью. В деталях этого класса кроме основных отверстий обрабатываются шпоночные или шлицевые пазы, крепежные отверстия и прорези в головках. Стержни рычагов часто не обрабатывают.

Значительное разнообразие конструкций рычагов вызывает необходимость их классификации с целью сужения типовых технологических процессов. С этой целью рекомендуется следующая классификация:

- рычаги, у которых торцы втулок имеют общую плоскость или их торцы лежат в одной плоскости;
- рычаги, у которых торцы втулок лежат в разных плоскостях;
- рычаги, у которых имеется длинная втулка с отверстием и значительно более короткие втулки.

Технологические задачи.

Точность размеров. Отверстия – основные и вспомогательные базы, поверхностями которых рычаги и вилки сопрягаются с валиками, проектируют у рычагов и шарнирных вилок по $H7...H9$, а у вилок переключения для уменьшения перекоса при осевом перемещении – по $H7...H8$. Точность расстояний между параллельными исполнительными поверхностями вилок переключения назначают по IT10...IT12. Расстояние между осями отверстий основных и вспомогательных баз рычагов должны соответствовать расчетным; допускаемые отклонения в зависимости от требуемой точности колеблются от $\pm 0,025$ до $\pm 0,1$ мм.

Точность формы. В большинстве случаев особых требований к точности формы поверхностей не предъявляется, т.е. погрешность формы не должна превышать допуск на размер или, в зависимости от условий эксплуатации, погрешности формы не должны превышать от 40 до 60 % от поля допуска на соответствующий размер.

Точность взаимного расположения. Для хорошего прилегания поверхностей отверстий к сопряженным деталям оси поверхностей отверстий (вспомогательных баз рычагов) должны быть параллельны осям поверхностей отверстий основных баз с допускаемыми отклонениями $(0,05...0,3)/100$ мм.

У рычагов, имеющих плоские обработанные поверхности, в некоторых случаях (по служебному назначению) задается перпендикулярность осей отверстий относительно этих плоскостей с допускаемыми отклонениями $(0,1...0,3)/100$ мм.

Качество поверхностного слоя. Шероховатость поверхности отверстий у рычагов и вилок в зависимости от точности диаметров отверстий назначают $Ra = 0,8...3,2$ мкм, шероховатость

исполнительных поверхностей у рычагов $Ra = 0,63...3,2$, у вилок переключения $0,8...3,2$ мкм. Для увеличения сроков службы твердость исполнительных поверхностей рычагов и вилок устанавливают HRC 40...60.

Для рассматриваемого рычага (п. 3.4.7.2):

- точность размеров основных отверстий – 22H7, 20H7, допуск на расстояние между осями отверстий составляет 0,02 мм;
- к точности формы особых требований не предъявляется, т.е. погрешность формы не должна превышать допуска на размеры;
- точность взаимного расположения задана допуском перпендикулярности осей отверстий относительно плоскости A и составляет 0,02 мм;
- шероховатость отверстий $Ra = 1,6$ мкм, торцов бобышек 3,2 мкм, остальные поверхности не обрабатываются.

3.4.6.2. Материалы и способы получения заготовок

В качестве материалов для изготовления рычагов служат: серый чугун, ковкий чугун и конструкционные стали.

Выбор материала зависит от служебного назначения и экономичности изготовления детали. Рычаги сложной формы могут быть достаточно экономично изготовлены из заготовки-отливки. Для деталей, работающих в машинах под небольшими, неударными нагрузками, выбирают серый чугун. Для нежестких деталей, работающих с толчками и ударами, вязкий серый чугун заменяется ковким чугуном. При получении ковкого чугуна обязательным становится отжиг, после которого заготовки коробятся и должны дополнительно подвергаться правке.

Введение дополнительных операций отжига и правки удорожает заготовки, поэтому в ряде случаев рычаги изготавливают из стали.

Чугунные заготовки рычагов получают обычно литьем в песчаные формы, отформованные по механическим моделям. При повышенных требованиях к точности отливок заготовки отливают в оболочковые формы. Отливки из ковкого чугуна следует подвергать отжигу и последующей правке для уменьшения остаточных деформаций.

Стальные заготовки рычагов получают ковкой, штамповкой, литьем по выплавляемым моделям и реже сваркой. С увеличением масштаба изготовления заготовок более экономичной становится штамповка в открытых и закрытых штампах. В серийном производстве штамповки выполняют на штамповочных молотах, фрикционных и кривошипных прессах, а в крупносерийном и массовом производствах – на кривошипных прессах и горизонтально-ковочных машинах.

Для уменьшения трудоемкой механической обработки, уменьшения расхода металла и улучшения внешнего вида по конструктивной форме стальных рычагов их заготовки вместоковки или штамповки получают литьем по выплавляемым моделям. Модели заготовок и литниковой системы из легкоплавких модельных составов, приготовленных на основе парафина, полистирола, стеарина и других подобных компонентов, получают в специальных пресс-формах. Шероховатость поверхности отливок по выплавляемым моделям соответствует $Ra = 6,3$ мкм. Отверстия по чертежу диаметром меньше 25 мм в заготовках литьем в песчаные формы и штамповкой обычно не получают.

Работающие при значительных нагрузках стальные рычаги из среднеуглеродистой стали для повышения прочности перед механической обработкой термически обрабатывают (закалка и высокий отпуск).

3.4.7. Технологический процесс изготовления рычагов

3.4.7.1. Основные схемы базирования

При фрезеровании торцов втулок за технологическую базу принимают поверхности стержня рычага или противоположные торцы втулок, при их шлифовании за технологическую базу принимают противоположные торцы втулок.

При обработке основных отверстий в качестве технологической базы выбирают обработанные торцы втулок и их наружные поверхности, что обеспечивает равенство торцов втулок. Заключительные этапы обработки выполняют при использовании в качестве технологической базы одного или двух основных отверстий и торцов втулок.

При обработке на автоматических линиях и ГПС для соблюдения принципа постоянства баз рычаги можно базировать и закреплять за стержень в приспособлениях-спутниках.

3.4.7.2. Типовой маршрут изготовления рычагов

1. *Маршрут механической обработки рычагов с общей плоскостью торцов втулок.*

005 Заготовительная.

Чугунные заготовки получают литьем в песчаные формы или оболочковые. Отливки из ковкого чугуна следует подвергать отжигу и последующей правке для уменьшения остаточных деформаций. Стальные заготовки – ковкой, штамповкой, литьем по выплавляемым моделям, а в единичном производстве – сваркой.

010 Фрезерная.

Фрезеровать торцы втулок с одной стороны начерно или начисто и с припуском под шлифование (при необходимости). Технологическая база (установочная) – поверхность стержня или противоположные торцы втулок. Направляющую и опорную базы выбирают из условий удобства установки детали. Станок – вертикально-фрезерный или карусельно-фрезерный.

015 Фрезерная.

Аналогично предыдущей операции, но с другой стороны. Технологическая база – обработанные торцы втулок. В серийном и массовом производствах обработка торцов втулок может выполняться одновременно с двух сторон на горизонтально-фрезерном станке набором фрез. Технологическая база – поверхность стержня или поверхность втулок.

020 Обработка основных отверстий.

Технологическая база – обработанные торцы втулок и их наружные поверхности, что обеспечивает равенство втулок. В зависимости от типа производства операцию выполняют:

- в единичном и мелкосерийном производствах – на радиально- и вертикально-сверлильных станках или расточных станках по разметке со сменой инструмента;
- в мелкосерийном и серийном производствах – на сверлильных станках с ЧПУ, на радиально- и вертикально-

сверлильных станках по кондуктору со сменой инструмента и быстросменных втулок в кондукторах;

- в крупносерийном и массовом производствах – на агрегатных многошпиндельных одно- и многопозиционных станках, вертикально-сверлильных станках с многошпиндельными головками и на протяжных станках.

Маршрут обработки основных отверстий имеет варианты:

- сверление, зеркерование, одно- или двукратное развертывание или двойное растачивание;

- сверление и протягивание (для отверстий диаметром более 30 мм). Если отверстие получено в заготовке прошиванием или литьем, то сверление заменяют предварительным зенкерованием.

Обеспечение параллельности осей и межосевого расстояния основных отверстий достигается следующим образом (в порядке убывания точности):

- одновременной обработкой несколькими инструментами на многошпиндельных станках;

- последовательной обработкой при неизменном закреплении заготовки;

- последовательной обработкой на разных станках, в разных приспособлениях.

030 Обработка шпоночных пазов или шлицевых поверхностей в основных отверстиях.

035 Обработка вспомогательных отверстий с нарезанием в них резьб (если нужно) пазов и уступов. Технологическая база – основные отверстия (одно или два) и их торцы.

040 Плоское шлифование торцов втулок.

Выполняется при повышенных требованиях к шероховатости и взаимному расположению торцов втулок на плоскошлифовальном станке с переустановкой. Технологическая база – торцы втулок.

050 Моечная.

055 Контрольная.

060 Нанесение покрытия.

В зависимости от конкретных условий последовательность обработки поверхностей рычагов может изменяться. Применяют варианты маршрута, в которых операции 010 и 020 меняются местами или объединяются.

2. *Маршрут обработки рычагов с торцами втулок в разных плоскостях:*

- обрабатывают торцы втулок с одной стороны;
- обрабатывают основные отверстия с той же стороны;
- обрабатывают торцы втулок с другой стороны;
- обрабатывают остальные поверхности в последовательности, указанной в первом варианте.

Ниже приведены краткое описание операций и операционные эскизы для изготовления рычага из стали (рис. 87).

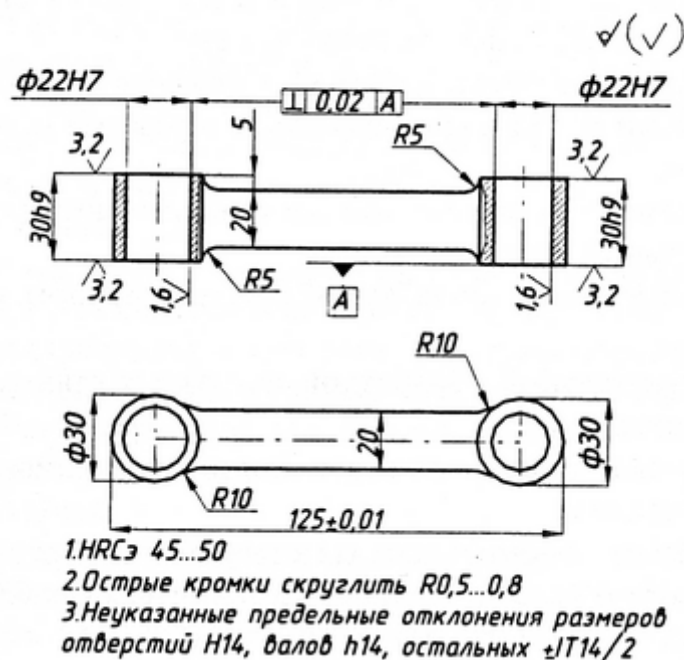


Рис. 87. Эскиз рычага

00. Заготовительная. Штамповка на кривошипном прессе.

05. Вертикально-фрезерная. Станок вертикально-фрезерный 6Н10 (рис. 88). Фрезеровать поверхность 1 под чистовое фрезерование. Фрезеровать поверхность 1 начисто.

10. Вертикально-фрезерная. Станок вертикально-фрезерный 6Н10 (рис. 89). Фрезеровать поверхность 1 под чистовое фрезерование. Фрезеровать поверхность 1 начисто.

15. Радиально-сверлильная. Станок радиально-сверлильный 2Н53 (рис. 90). Сверлить отверстия 1 и 2 под развертывание. Развернуть отверстия 1 и 2 под чистовое развертывание. Развернуть отверстия 1 и 2 начисто.

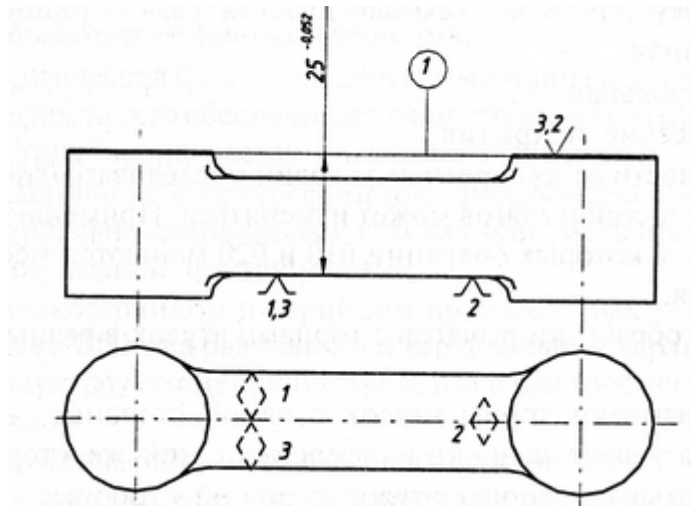


Рис. 88. Операционный эскиз к операции 05

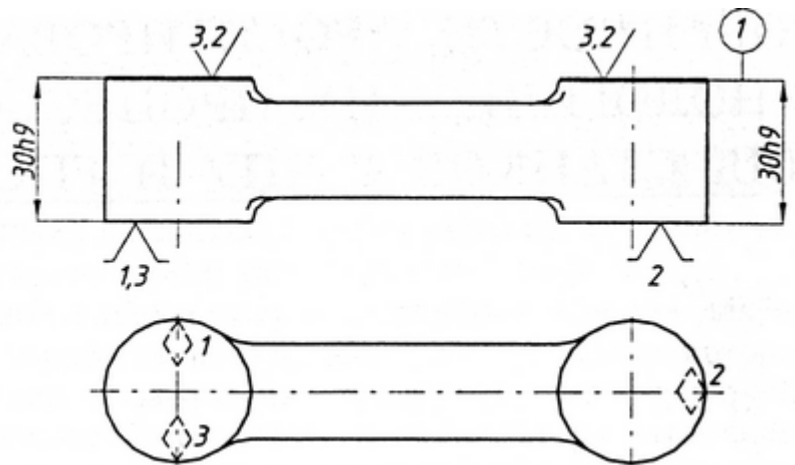


Рис. 89. Операционный эскиз к операции 10

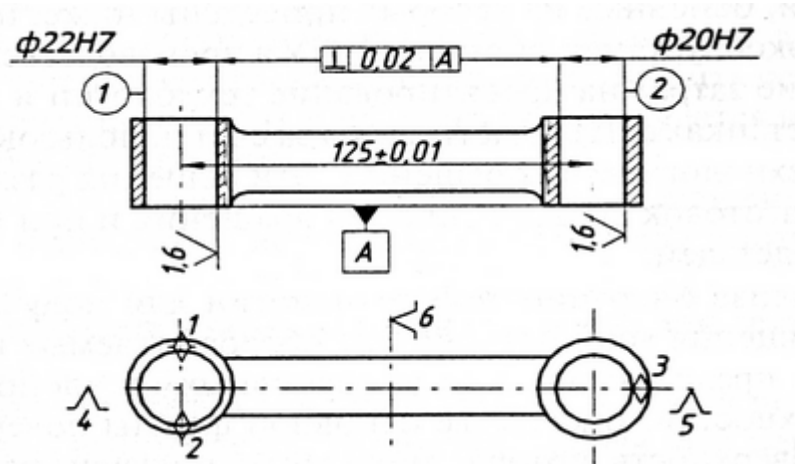


Рис. 90. Операционный эскиз к операции 15

3.5. Технология изготовления корпусов

3.5.1. Характеристика корпусных деталей

Основная функция корпусов – обеспечение требуемой точности и стабильности взаимного расположения деталей.

Вспомогательные функции:

- а) создание требуемых условий работы деталей (герметичность и пр.);
- б) снятие внешних динамических нагрузок.

Корпуса можно разделить:

1. Корпуса коробчатого типа. Параллелепипед с тонкими стенками. Габаритные размеры примерно одного порядка. Характерно наличие основных отверстий для валов. Диапазон диаметров 20...150 мм, точность отверстий: 10 % – 6-й квалитет; 50 % – 7; 30 % – 8, 9; 10 % – менее точные. Корпуса могут быть разъемные (по оси отверстия) и неразъемные, могут иметь внутренние перегородки.

2. Корпуса с развитыми внутренними цилиндрическими поверхностями (блоки цилиндров, цилиндры, компрессоры и т.д.).

3. Корпуса сложной профильной формы (центробежные насосы, паровые и газовые турбины и т.д.).

4. Каретки, салазки, столы, ползуны – с развитыми направляющими поверхностями.

5. Кронштейны, угольники, стойки.

6. Плиты, крышки, поддоны (один габарит значительно меньше остальных).

Технологические задачи.

Точность размеров:

- точность диаметров основных отверстий под подшипник по 7-му качеству с шероховатостью $Ra = 1,6 \dots 0,4$ мкм, реже – по 6-му качеству с шероховатостью $Ra = 0,4 \dots 0,1$ мкм;
- точность межосевых расстояний отверстий для зубчатых передач с межцентровыми расстояниями 50...800 мм от ± 25 до ± 280 мкм;
- точность расстояний от осей отверстий до установочных плоскостей колеблется от 6-го до 11-го квалитетов.

Точность формы:

- для отверстий, предназначенных для подшипников качения, допуск круглости и допуск профиля сечения не должны превышать (0,25...0,5) поля допуска на диаметр в зависимости от типа и точности подшипника;
- допуск прямолинейности поверхностей прилегания задается в пределах 0,05...0,20 мм на всей длине;
- допуск плоскостности поверхностей скольжения 0,05 мм на длине 1 м.

Точность взаимного расположения поверхностей:

- допуск соосности отверстий под подшипник в пределах половины поля допуска на диаметр меньшего отверстия;
- допуск параллельности осей отверстий в пределах 0,02...0,05 мм на 100 мм длины;
- допуск перпендикулярности торцовых поверхностей к осям отверстий в пределах 0,01...0,1 мм на 100 мм радиуса;
- у разъемных корпусов несовпадение осей отверстий с плоскостью разъема в пределах 0,05...0,3 мм в зависимости от диаметра отверстий.

Качество поверхностного слоя. Шероховатость поверхностей прилегания $Ra = 6,3 \dots 0,63$ мкм, поверхностей скольжения $Ra = 0,8 \dots 0,2$ мкм, торцовых поверхностей $Ra = 6,3 \dots 1,6$ мкм.

3.5.2. Материалы и заготовки для корпусных деталей

Наиболее распространены серый чугун СЧ, углеродистая сталь, ковкий чугун, легированная сталь, алюминиевые и магниевые сплавы. СЧ – основной материал, так как он дешев, хорошо обрабатывается. Рекомендуется:

- СЧ12, СЧ18, СЧ21 – для корпусов станков, сельскохозяйственных машин, насосов, редукторов (износостойкость);
- СЧ24, СЧ28 – для ответственных деталей автомобилей, тракторов, двигателей;
- АЛ4, АЛ8, АЛ10В, АЛВ – в автомобилестроении, приборостроении;
- Ст.3, Ст.4 – для сварных корпусов;
- легированные стали – для работы в агрессивных средах (нержавейка).

Чугунные и стальные заготовки отливают в земляные и стержневые формы. Для сложных корпусов с высокими требованиями по точности и шероховатости (корпуса центробежных насосов) рекомендуется литье в оболочковые формы и по выплавляемым моделям.

Заготовки из алюминиевых сплавов получают отливкой в кокиль и под давлением. Замена литых заготовок сварными производится для снижения веса и экономии материала, при этом толщина стенок корпуса может быть уменьшена на 30...40 % по сравнению с литыми корпусами.

3.5.3. Технологический процесс обработки корпусов

3.5.3.1. Общие положения

В мелкосерийном и единичном производствах часто применяют **разметку**, которая выполняет ту же функцию, что и полное базирование в крупносерийном и массовом производствах, т.е. обеспечивает правильное расположение изделия в геометрическом объеме фактически полученной заготовки. В автоматизированных ТП разметка нежелательна.

На рис. 91 показаны основные виды обработки на фрезерно-сверлильно-расточном ОЦ.

Наиболее ответственные этапы разработки ТП – выбор баз и последовательности обработки.

Выбор баз.

На основе анализа служебного назначения корпуса выделяются поверхности, от которых задано расположение большинства поверхностей. Обычно это **основные** или **вспомогательные конструкторские базы**. Их и следует выбирать в качестве технологических баз на технологических операциях окончательной обработки, чтобы обеспечить требуемую точность.

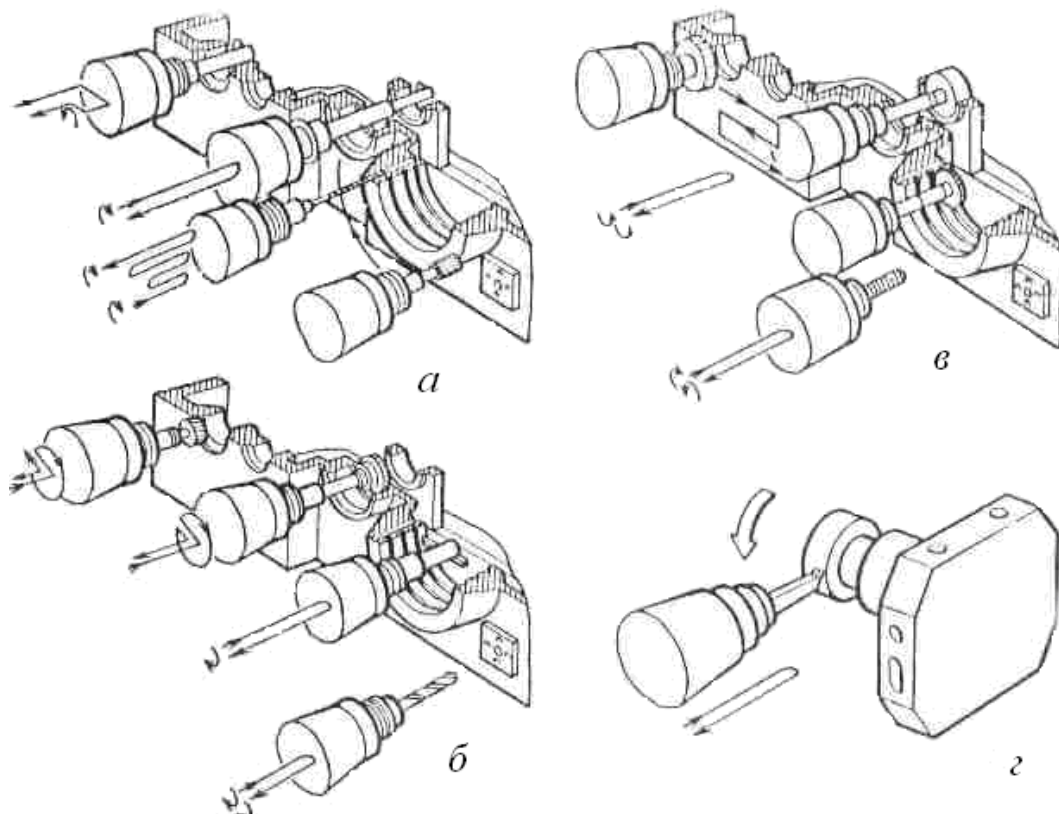


Рис. 91. Виды обработки, выполняемые на сверлильно-фрезерно-расточном ОЦ:
а – обратное цекование, растачивание, сверление глубоких отверстий, фрезерование; *б* – фрезерование по контуру, растачивание канав, сверление; *в* – фрезерование плоскостей, обработка отверстий, канавок, нарезание резьбы; *г* – токарная обработка с вращением закрепленной на паллете заготовки

Исходя из выбранных баз на последних операциях определяют базы на ранних операциях, чтобы подготовить необходимый комплект баз.

Следует помнить, что при базировании решаются **различные задачи**, как правило:

- правильное относительное положение необрабатываемых поверхностей относительно обрабатываемых. Для этого на черновой операции надо выбирать в качестве баз поверхности, которые в дальнейшем не будут обрабатываться;
- обеспечение равномерности припуска на обрабатываемой поверхности заготовки.

Эта задача решается сложнее, носит вариантный характер и даже имеет специальное название: *ВЫБОР БАЗ НА 1-й ОПЕРАЦИИ*.

Кратко:

1. Определяются наиболее точные и важные поверхности корпуса.
2. Определяется схема базирования при первой механической обработке этих поверхностей (операция *K*).
3. Составляются варианты базирования на предыдущих операциях (тех, на которых обрабатываются базы для операции *K*).
4. Путем расчета размерных цепей определяют погрешности обработки по каждому варианту и отбирают по минимальной погрешности.

При базировании корпусных деталей стараются выдерживать принципы совмещения и постоянства базы.

Ниже приведены наиболее часто используемые схемы базирования:

- по трем плоскостям – на шесть точек, расположенных в трех координатных плоскостях (рис. 92);
- по плоской поверхности и двум отверстиям, чаще всего обработанным по 7-му качеству (рис. 93);
- по плоскости торца и основному отверстию – корпуса фланцевого типа.

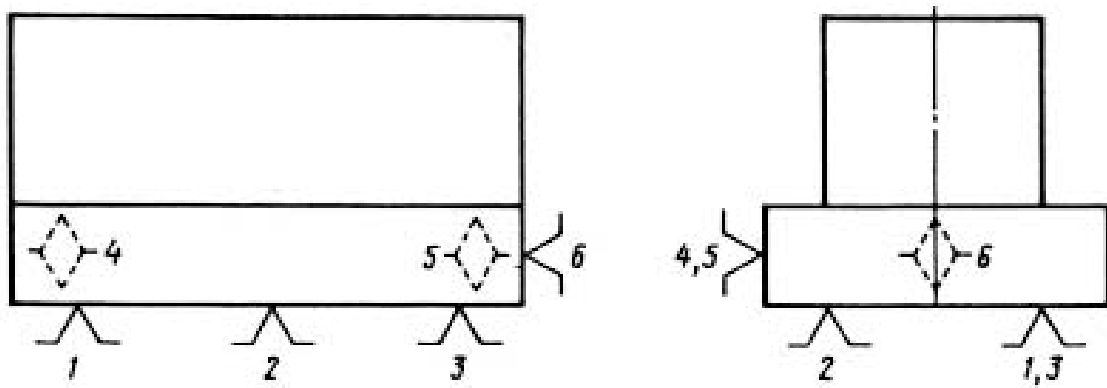


Рис. 92. Схема базирования в "координатный" угол

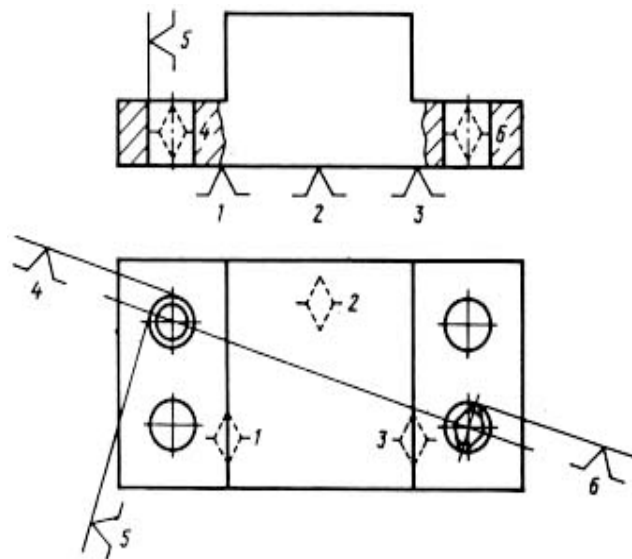


Рис. 93. Схема базирования по плоскости и двум отверстиям

3.5.3.2. *Обработка основных элементов корпусов*

Для решения вопросов, связанных с построением технологии обработки корпусных деталей на многоинструментных сверлильно-фрезерно-расточных станках с ЧПУ, каждую корпусную деталь рассматривают как сочетание элементарных поверхностей (отверстия, плоскости, пазы и т.п.). Правомерность такого подхода подтверждена опытом обработки на многоинструментных станках с ЧПУ. Такое представление облегчает выбор технологических решений обработки деталей, инструмента, формализацию разработки технологических процессов, использование для этой цели вычислительной техники.

Отверстия корпусных деталей делят на основные, служащие для базирования деталей, устанавливаемых в корпусе; вспомогательные, в том числе крепежные, служащие для крепления присоединяемых деталей с помощью болтов, винтов, шпилек, штифтов; свободные, необходимые для удобства обработки, базирования, монтажа, смазывания, ремонта и т.д.

Наиболее часто среди основных отверстий, расположенных в одной стенке детали, встречаются следующие: гладкие (рис. 94, *а*); с канавками, выточками (рис. 94, *б*); ступенчатые и гладкие (рис. 94, *в*). Отверстия могут быть с фасками и без них.

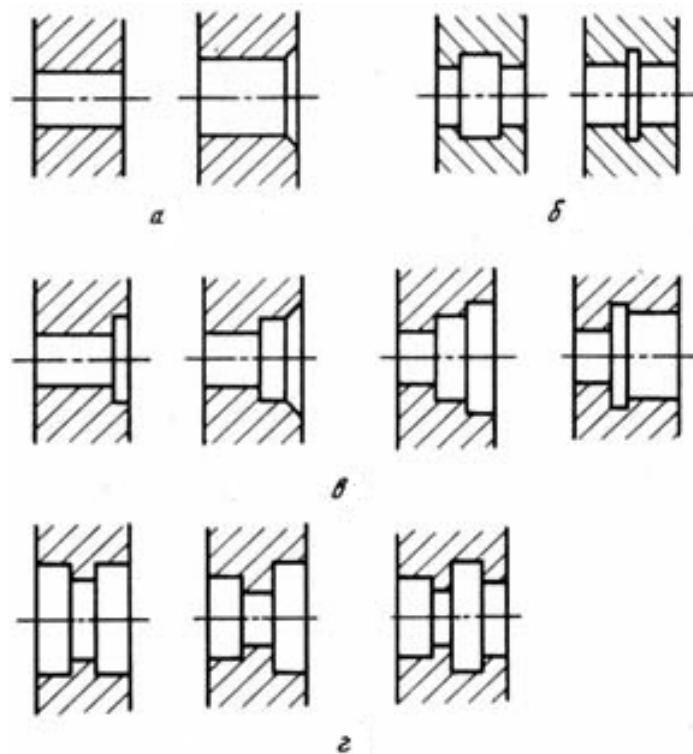


Рис. 94. Типы основных отверстий корпусных деталей

Плоские поверхности корпусов могут быть параллельными, перпендикулярными, наклонными и иметь различную конфигурацию. Отклонения от прямолинейности и плоскостности оснований корпусных деталей нормируется в пределах 0,005–0,02 мм на длине детали до 500 мм. Аналогичные требования, предъявляемые к другим плоскостям корпусов, ограничиваются значе-

ниями 0,02–0,05 мм. Отклонения от перпендикулярности плоскостей корпусов обычно 0,01–0,02 мм.

Технологические переходы обработки элементарной поверхности (отверстие, плоскость, паз и т.п.) выбирают по отработанным технологическим схемам. **Технологическая схема** представляет собой комплекс последовательно выполняемых переходов, необходимых для обеспечения требуемого качества поверхности.

В табл. П1 приложения даны технологические схемы обработки отверстий, переходы и последовательность их выполнения. Рекомендации по выбору технологических схем для обработки основных отверстий приведены в табл. П2 и П3, а вспомогательных отверстий – в табл. П4.

Например, требуется обработать основное отверстие по 7-му качеству, диаметром 15...30 мм, шероховатость $Ra = 1,25$ мкм, допуск на межосевое расстояние в пределах 0,05...0,3 мм.

По табл. П1 выбираем технологическую схему № 32 – центрование – сверление – растачивание – черновое развертывание – чистовое развертывание.

В выбранную технологическую схему обработки отверстий дополнительно следует ввести переход "обработка фаски", если фаска предусмотрена чертежом и в технологической схеме отсутствует переход "центрование". Этот переход выполняется перед получистовым или чистовым растачиванием или развертыванием. Если отверстие неточное (11...13-го качества), фаску обрабатывают после сверления или зенкерования. В тех случаях, когда отверстие имеет внутренний торец и (или) канавку (как правило отверстия 7-го, 8-го качества диаметром более 30 мм), в технологическую схему вводят переходы "обработка торца" и "обработка канавки", которые выполняют до получистового или чистового растачивания или развертывания.

Фрезерование отверстий вместо их предварительного растачивания двухрезцовым блоком производительнее при длине отверстия, не превышающей длину режущей части фрезы. Чем больше припуск на обработку отверстия и чем неравномернее его расположение по длине окружности, тем эффективнее фрезеро-

вание по сравнению с растачиванием. Использование одной концевой фрезы вместо нескольких расточных инструментов позволяет уменьшить набор инструментов, необходимый для выполнения операции, сократить число смен инструмента и суммарное время, затрачиваемое на перерывы в резании, связанные со сменной инструмента.

В табл. П5 даны технологические схемы обработки плоскостей и пазов (переходы обработки и последовательность их выполнения). Рекомендации по выбору технологических схем в зависимости от допускаемых отклонений относительного положения и формы плоскостей приведены в табл. П6, а схем обработки пазов – в табл. П7.

Операции обработки корпусной детали формируются в такой последовательности:

- по табл. П1–П7 для каждой элементарной поверхности определяется технологическая схема обработки;
- для каждого из переходов выбирают по рекомендациям режущий инструмент;
- из полученного набора инструмента исключают повторяющийся, объединяют инструменты одного назначения и близких размеров, объединяют переходы, выполняемые одним инструментом (получают инструментальный переход);
- устанавливают последовательность выполнения переходов.

В справочнике [3] приведены различные схемы типовых, рекомендуемых перемещений режущего инструмента при обработке плоскостей, пазов отверстий, окон, канавок. Подробные рекомендации по выбору той или иной схемы перемещения приведены там же.

Величину $L1$ (недобег инструмента) и $L2$ (перебег инструмента) принимают обычно для необработанных плоскостей 10 мм, для обработанных плоскостей 2 мм.

Рекомендации по выбору режущего инструмента.

Торцовые фрезы:

- при прочих равных условиях торцовая фреза меньшего диаметра предпочтительнее большего;

- число проходов фрезы должно быть минимальным;
- при черновой обработке $B < 0,8D$;
- при чистовой обработке $B < 0,9D$;
- целесообразно обеспечить $B > 0,3D$;
- при $0,8D < B < 1,2D$ можно обработать за один ход (зигзаг), где B – ширина фрезерования; D – диаметр фрезы.

Если предполагается обрабатывать одной фрезой несколько плоскостей, то выбирают фрезу наименьшего допустимого диаметра. При обработке сложных контуров, отверстий, пазов используют концевые фрезы с твердосплавными пластинами. Также используют дисковые и шпоночные фрезы. Диаметр концевых фрез принимают максимально возможным.

Для растачивания отверстий диаметром 80...250 мм используют расточные регулируемые головки со сменными твердосплавными четырехгранными пластинами.

Центровать отверстия целесообразно короткими спиральными сверлами с углом при вершине 90° . Диаметр центровочного сверла выбирают в зависимости от диаметра центрального отверстия (лунки), которое необходимо выполнить этим сверлом.

3.5.3.3. Типовые маршруты изготовления корпусов

Последовательность обработки корпусов приведена в табл. 3.

Таблица 3

Общая схема обработки корпусов

Содержание перехода	Инструмент	Указания
1. Фрезерование внешних поверхностей (черновое, получистовое, чистовое)	Фрезы торцовые	Чистовое фрезерование нежестких деталей выполнять после перезакрепления (п. 10)
2. Сверление (рассверливание) в сплошных стенках (сквозное – основных отверстий под обработку, глухое – для ввода концевых фрез). Диаметр больше 30 мм	Сверла	Если в переходах, указанных в пп. 2, 8, используется один РИ, их можно

		совместить
3. Фрезерование пазов, отверстий, окон, карманов, выборков	Фрезы концевые	В соответствии с рекомендациями для ЧПУ
4. Фрезерование внутренних поверхностей, перпендикулярных оси шпинделя	Фрезы торцовые, концевые	То же
5. Черновое растачивание, зенкерование основных отверстий в сплошных стенках (после п. 2)	Резцы расточные, зенкеры	То же
6. Обработка неточных дополнительных поверхностей, расположенных в основных отверстиях и концентричных оси (канавки, выемки, уступы, фаски)	Фрезы концевые, угловые, дисковые и пр.	Рекомендации для фрезерных станков с ЧПУ

Продолжение табл. 3

Содержание перехода	Инструмент	Указания
7. Обработка дополнительных поверхностей на внешних и внутренних плоскостях, на необработанных поверхностях	Фрезы концевые, шпоночные	То же
8. Обработка крепежных и других вспомогательных отверстий $\varnothing > 15$ мм (сверление, зенкерование, зенкование, нарезание резьбы)	Сверла, зенкеры, зенковки, метчики	То же
9. Снятие фасок кругом	Фрезы угловые	
10. Перезакрепление детали, проверка положения подвижных органов станка, очистка посадочных гнезд в шпинделе для обеспечения точности		Можно не выполнять, если деталь не деформируется при закреплении
11. Окончательное фрезерование плоскостей	Фрезы торцовые	Для обработки нежестких деталей
12. Обработка точных поверхностей основных отверстий (растачивание, развертывание)	Резцы расточные, развертки	То же
13. Обработка точных и точно расположенных отверстий малого диаметра (под штифты, втулки и пр.)	Сверла, резцы расточные, развертки	
14. Обработка точных и точно распо-	Резцы расточ-	

ложенных в отверстиях дополнительных поверхностей (канавок, выемок, уступов)	ные, фрезы дисковые трехсторонние	
15. Обработка несимметричных относительно отверстия выемок, пазов, карманов	Фрезы дисковые, концевые	
16. Обработка обратных выемок, фасок и других поверхностей, связанных с основными отверстиями	Фрезы дисковые, угловые, резцы канавочные, фасочные	
17. Обработка крепежных и других неответственных отверстий малого диаметра	Сверла, зенкеры, метчики	Можно совместить с п. 8

Маршрут обработки корпусной детали состоит из следующих основных этапов: обработки поверхностей, используемых в качестве технологических баз, обработки взаимосвязанных плоских поверхностей, обработки основных отверстий, обработки крепежных отверстий, отделочной (финишной) обработки плоских поверхностей и основных отверстий (если необходимо). Каждый из этапов может состоять из нескольких операций или, наоборот, одна операция может включать в себя различные этапы обработки. Во многих случаях в маршрут включают термические операции старения и отжига между черновой и чистовой обработкой.

В маршрутном технологическом процессе обработки корпусной детали, подвергающейся искусственному старению или имеющей точные отверстия и плоскости, следует дифференцировать операции на черновые и чистовые. В таких случаях корпусные детали, имеющие пять-шесть обрабатываемых сторон, изготавливают, как правило, за одну-две черновые и две чистовые установки.

В маршрутном технологическом процессе обработки корпусных деталей, не проходящих старения и (или) не имеющих точных отверстий и плоскостей, как правило, предусматривают две или одну операции обработки на многоинструментном станке в зависимости от числа обрабатываемых сторон и их точности.

Если корпусная деталь подвергается промежуточной термобработке или имеет точные отверстия и плоскости, то маршрутный технологический процесс рекомендуется строить следующим образом.

1. Первая черновая операция – обработка детали с двух-трех сторон (плоскости и отверстия большого диаметра); в качестве технологической базы используют поверхности, обеспечивающие надежное закрепление, возможность производительного снятия припуска.

2. Вторая черновая операция – обработка остальных сторон детали с установкой по обработанным в предыдущей операции поверхностям, создание технологических баз для последующей обработки. В каждой из черновых операций следует стремиться обработать взаимосвязанные плоскости и отверстия для того, чтобы обеспечить правильность их относительного положения и минимальный припуск на последующую обработку, удалить, по возможности, максимальное количество материала отливки для стабилизации внутренних напряжений.

3. Первая чистовая операция – обработка базовой и противоположных ей плоскостей заготовки и всех элементов (пазов, уступов, отверстий), расположенных на этих плоскостях, в том числе основных отверстий.

4. Вторая чистовая операция – обработка остальных четырех сторон с установкой по обработанным в предыдущей операции базам, в том числе обработка основных отверстий, пазов, уступов, вспомогательных и крепежных отверстий.

Общее правило: последовательность черновых переходов определяют исходя из условия уменьшения времени на вспомогательные перемещения, последовательность получистовых и чистовых переходов – исходя из уменьшения числа изменений положения режущего инструмента и детали в плоскости, перпендикулярной к оси обработки.

4. РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА СБОРКИ МАШИН

4.1. Понятия и определение основных элементов ТПС

В последнее время автоматизации ТПС уделяют все большее внимание. Объясняется это тем, что удельный вес сборочных работ в общей трудоемкости изделий постоянно растет (при уменьшении доли механической обработки). Основные причины:

1. Низкий уровень механизации и автоматизации сборки (уровень механизации составляет 20...25 % в серийном и 40...50 % в крупносерийном производствах, автоматизации даже в массовом производстве – не более 15 %).

2. Усложнение конструкций, требований по точности и надежности.

3. Сложность автоматизации ТПС: состав движений при сборке, ориентация деталей и т.п.

Современное сборочное производство – это организационно-технический комплекс, включающий доставку, подготовку и комплектование деталей перед сборкой и заканчивающийся испытанием и консервацией продукции.

ТПС – часть производственного процесса, характеризующаяся последовательным соединением и фиксацией всех деталей, составляющих ту или иную сборочную единицу (СЕ), в целях получения изделия, отвечающего установленным для него техническим требованиям.

ТПС включает в себя различные сборочные работы. В табл. 4 приводятся данные о соотношении трудоемкости различных видов сборочных работ.

Таблица 4

Виды работ, входящих в процесс сборки

Виды работ	Краткая характеристика	Удельный вес в общей трудоемкости сборки, %	
		мелко-серийное производство	массовое производство
Подготовительные	Работы по приведению деталей, а также покупных изделий в состояние, требуемое условиями сборки: декон-	5–7	8–10

	сервирование, мойка, сортирование на размерные группы, укладка в тару и др.		
Пригоночные	Работы, связанные с обеспечением собираемости соединений и технических требований к ним: опилование и зачистка, притирка, полирование, шабрение, сверление, правка	20–25	–
Собственно сборочные	Работы по соединению двух и более деталей для получения СЕ и изделий основного производства	44–47	70–75
Регулировочные	Работы, проводимые в процессе сборки или после ее с целью достижения требуемой точности во взаиморасположении деталей в СЕ и изделии	7–9	6–7

Продолжение табл. 4

Виды работ	Краткая характеристика	Удельный вес в общей трудоемкости сборки, %	
		мелко-серийное производство	массовое производство
Контрольные	Работы, выполняемые в процессе сборки и после нее с целью проверки соответствия СЕ и изделий параметрам, установленным чертежом и техническим условиям на сборку	10–12	8–10
Демонтажные	Работы по частичной разборке собранного изделия для подготовки его к упаковке и транспортировке	6–8	3–4

ТПС разделяется на сборочные операции, выделяемые по принципам:

- а) техническому (возможность сборки на одном рабочем месте);
- б) экономическому (целесообразность).

Сборочная операция – это технологическая операция установки и образования соединения составных частей изделия.

Сборочный переход – это законченная часть операции сборки, выполняемая над определенным участком сборочного соединения неизменным методом выполнения работы при использовании одних и тех же инструментов и приспособлений.

4.1.1. Классификация видов сборки

1. По объекту сборки:

- а) общая сборка (из СЕ 1-го порядка);
- б) узловая сборка (сборка СЕ 1-го порядка и более низкого порядка).

СЕ 1-го порядка – составная часть изделия, которая может быть собрана отдельно от других элементов (в литературе часто вместо термина "сборочная единица" используют термин "узел").

СЕ 2-го (3-го...) порядка – СЕ, входящие в изделие только через СЕ 1-го порядка.

В сборочном производстве широко используется ряд терминов.

Деталь – это изделие, изготовленное из однородного по наименованию и марке материала без применения сборочных операций.

Агрегат (модуль) – это СЕ, обладающая полной взаимозаменяемостью, возможностью сборки отдельно от других составных частей изделия и способностью выполнять определенную функцию в изделии или самостоятельно. Сборка изделий из агрегатов носит название агрегатной и обладает обычно более высокими технико-экономическими показателями.

Комплекс – два и более специфицированных изделия, не соединенные на предприятии-изготовителе сборочными операциями, но предназначенные для взаимосвязанных эксплуатационных функций (как основных, так и вспомогательных или расширяющих технологические возможности изделия).

Комплект – два и более изделия, соединенные на предприятии сборочными операциями, или набор изделий, имеющих общее эксплуатационное назначение вспомогательного характера (например, комплект инструмента).

2. По стадии выполнения процесса сборки:

а) **предварительная** – сборка деталей, составных частей или изделия, которые в последующем подлежат разборке. Например, предварительная сборка узла с целью определения размера неподвижного компенсатора;

б) **промежуточная** – сборка деталей или заготовок для дальнейшей их совместной обработки. Например, предварительная сборка корпуса редуктора с крышкой для последующей совместной обработки отверстий под подшипники;

в) **под сварку** – предназначена для фиксации взаимного расположения свариваемых деталей. Например, в процессе сварки основание, кабина и другие элементы кузова автомобиля удерживаются в специальных приспособлениях фиксаторами;

г) **окончательная** – после нее разборка не предусмотрена.

3. По методу образования соединения:

а) **слесарная** – при помощи ручного и механизированного инструмента;

б) **монтаж** – установка изделий или его составных частей на месте использования;

в) **электромонтаж** – монтаж изделий с токоведущими элементами;

г) **сварка**;

д) **пайка**;

е) **клепка** и пр.

4. По организационным формам сборки (ОФС) (рис. 95).

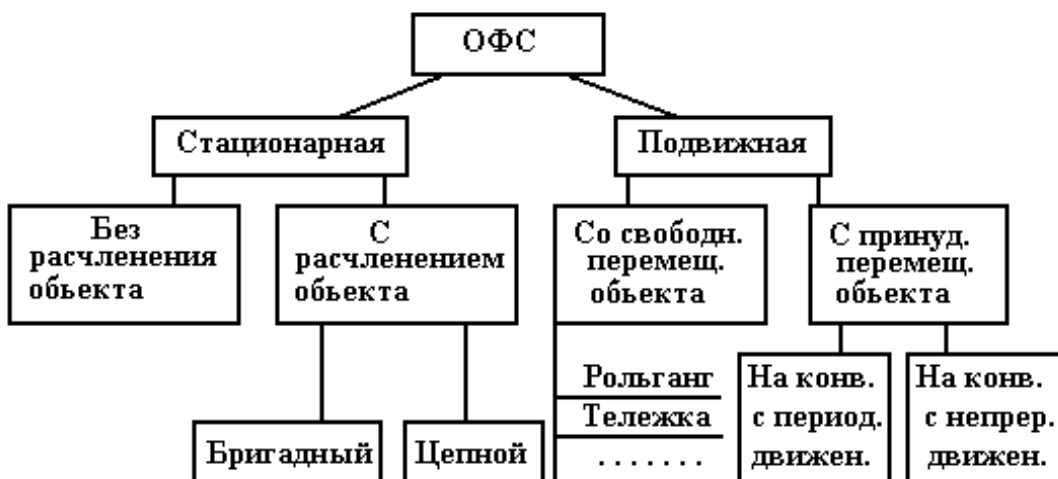


Рис. 95. Организационные формы сборки

4.1. Стационарная – сборка на одной позиции. Выполняется одним или несколькими высококвалифицированными рабочими. Неизменное положение базовой детали способствует достижению высокой точности. Незначительные затраты на технологическую подготовку производства. Но цикл сборки продолжительный. Требуется много площадей, инструмента и приспособлений. Велико незавершенное производство. Различают следующие формы:

а) без расчленения собираемого объекта (концентрация) – применяется в опытном производстве, в ремонтном, в авиапромышленности, космонавтике.

Длительность ТПС

$$T_{сб} = T_{сб.и} N_{г} / P,$$

где $T_{сб.и}$ – трудоемкость сборки одного изделия, чел.-ч; $N_{г}$ – годовая программа выпуска; P – количество рабочих в сборочной бригаде.

Метод применяют для крупногабаритных изделий в мелкосерийном и серийном производствах;

б) с расчленением (принцип дифференциации). ТПС разделяется на узловую и общую сборку. Изделие предварительно расчленяется на узлы разных порядков невысокой сложности. Организуются специализированные бригады, что снижает трудоемкость и повышает производительность. Изделие при этом остается на одном месте. Достоинства:

- сокращается цикл сборки (параллельная сборка);
- сокращаются площади, сборщики, инструмент;
- сокращается незавершенное производство;
- сокращается трудоемкость и себестоимость.

Длительность ТПС

$$T_{сб} = \left(\frac{t_y}{P_y} + \frac{t_o}{P_o} \right) N_{г},$$

где t_0 (t_y) – трудоемкость общей (узловой) сборки; P_0 (P_y) – количество рабочих на общей (узловой) сборке.

Различают бригадный и цепной варианты этого метода.

Бригадный – собираемые изделия и узлы размещаются на стендах, а рабочий (группа) выполняет однотипные операции, последовательно обходя каждый объект.

Цепной – собирают узлы, контролируют, отправляют заказчику, где производят монтаж изделия (тяжелое

Подвижная – сборка изделия или его составной части с последовательным перемещением их по различным рабочим местам (постам), к которым подаются соответствующие детали и узлы:

а) со свободным перемещением собираемого объекта – объект перемещается сборщиком по рольгангу или на тележке после окончания очередной операции (для мелкосерийного производства);

б) с принудительным перемещением (для крупносерийного производства) – объект перемещается механизированным транспортным устройством прерывного или непрерывного действия (конвейером).

5. По методу обеспечения точности замыкающего звена:

- а) полной взаимозаменяемости;
- б) неполной взаимозаменяемости;
- в) групповой взаимозаменяемости;
- г) пригонка;
- д) регулировка (компенсационные материалы, деформация деталей, перемещение деталей).

6. По организации производства:

а) групповая – сборка в условиях групповой организации производства;

б) поточная – сборка в условиях поточной организации производства.

7. По механизации и автоматизации процесса:

- а) ручная;
- б) механизированная;
- в) автоматизированная;

г) автоматическая.

4.1.2. Поточная линия сборки (ПЛС)

В крупносерийном и массовом производствах ТПС расчленяют так, что каждую операцию выполняет один сборщик. Объект последовательно перемещается по рабочим местам (по ходу ТПС) – поточная сборка.

Преимущества:

- 1) снижается себестоимость, цикл сборки, незавершенное производство;
- 2) улучшаются производительность и условия труда.

Признаки поточной организации сборки:

1. Прямоточность движения объекта (по ходу ТПС).
2. Специализация рабочих мест (закрепляется определенная операция).
3. Отсутствие пролеживания объекта на операции.
4. Синхронизация операций.
5. Четкая работа всех смежных служб (комплектация и техническое обслуживание).
6. Наличие средств механизации и автоматизации.

Поточная линия сборки – совокупность рабочих мест, расположенных по ходу ТПС, на которых выполняется общая или узловая сборка.

Основные характеристики ПЛС:

1. **Темп сборки** (такт выпуска) – время между выходом со сборки двух смежных готовых изделий:

а) номинальный темп сборки $T_{\text{н}}$, мин/шт.:

$$T_{\text{н}} = \frac{60F_{\text{н}}}{N_{\text{г}}},$$

где $F_{\text{н}}$ – номинальный годовой фонд рабочего времени, ч;

$$F_{\text{н}} = Ditk_{\text{р}},$$

где D – количество рабочих дней в году; i – количество рабочих смен в сутки; t – продолжительность рабочей смены, ч; $k_{\text{р}}$ – коэффициент, учитывающий потери времени на ремонт оборудования, $k_{\text{р}} = 0,98$ – для одной смены, $k_{\text{р}} = 0,97$ – для двух смен;

б) действительный темп сборки T_D , мин/шт.:

$$T_D = \frac{60F_D}{N_{\Gamma}},$$

где F_D – действительный фонд времени ($F_D < F_n$, так как есть перерывы в работе и время на обслуживание оборудования).

$$F_D = Di(tk_p - T_{\text{обсл}} - T_{\text{пер}}),$$

где $T_{\text{обсл}}$ – время на обслуживание оборудования; $T_{\text{пер}}$ – время неплановых перерывов (отдых, естественные надобности).

2. Ритм сборки – характеризует количество изделий, собираемых в единицу времени.

Две разновидности:

а) номинальный $R_H = \frac{1}{T_H}$;

б) действительный $R_D = \frac{1}{T_D}$.

3. Продолжительность сборки на ПЛС T_{Π} , мин/изд.:

$$T_{\Pi} = N_p T_D,$$

где N_p – количество специализированных рабочих мест на ПЛС.

4. Характер перемещения объекта на ПЛС.

Зависит от T_D (например, для станкостроения принимают):

а) при $T_D > 2$ часов – свободное перемещение;

б) при $0,3 < T_D < 2$ часов – пульсирующее принудительное;

в) при $T_D < 0,3$ часов – непрерывное движение.

Наиболее совершенной по ТЭП является поточная сборка при расчлененном ТПС с принудительным движением объекта и принудительно регулируемым темпом (за счет изменения скорости движения конвейера).

Перспективной является конвейерная сборка, особенно для многономенклатурных ПЛС с автоматической адресацией собираемого объекта за счет создания гибкой транспортной связи между рабочими постами (серийное производство).

4.1.3. Технологичность конструкции изделия (ТКИ) применительно к сборке

Качество, производительность, экономичность сборочных работ в значительной степени зависят от технологичности конструкции изделия и входящих в него СЕ.

Под ТКИ в широком смысле понимают совокупность свойств конструкции, характеризующих возможность оптимизации (минимизации) затрат труда, времени и средств на всех стадиях жизненного цикла изделия.

В производственном смысле ТКИ характеризует связь конструкции с технологией или, другими словами, приспособленность конструкции к условиям конкретного предприятия-изготовителя.

ТКИ "закладывается" конструктором при разработке конструкторской документации путем ее отработки на технологичность.

Основные технологические требования к конструкции должны способствовать разработке рациональных ТПС и обеспечивать его эффективность. Требования к ТКИ сборочных единиц регламентированы в ГОСТ 14.203-74, требования к деталям – в ГОСТ 14.204-74.

К ним относятся:

- а) независимость сборки;
- б) непрерывность сборки (поточность);
- в) доступность мест сборки, монтажа и регулировки;
- г) недеформируемость собираемых деталей и СЕ;
- д) применение минимального числа пригоночных работ.

Независимость сборки обеспечивается делением изделия на СЕ, сборка которых может производиться независимо (параллельно) друг от друга. Связи между СЕ должны быть малочисленными и предельно простыми. Независимость обеспечивается: унификацией СЕ, сокращением типоразмеров СЕ, возможностью расчленения изделия на максимальное количество узлов и СЕ (рис. 96).

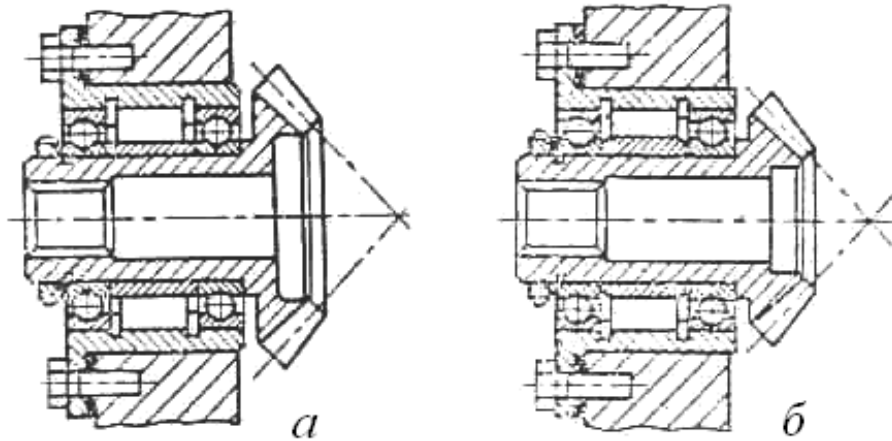


Рис. 96. Опора конического зубчатого колеса:
а – нетехнологично; *б* – технологично

Анализ независимости обеспечивается построением схемы расчленения.

Непрерывность обеспечивается конструкцией изделий, не требующей промежуточных разборок (иначе невозможна автоматизация). Непрерывность связана с дифференциацией ТПС и обеспечивается путем анализа схем сборки изделия.

Принципы, обеспечивающие непрерывность (поточность):

- модульная конструкция изделий;
- недопустимость пригоночных и подборочных работ при сборке;
- синхронизация трудоемкости СО;
- удобство конструкции для быстрого перемещения и установки на сборочный конвейер, для использования механизированного и автоматизированного инструмента и приспособлений.

При проектировании изделия надо предусматривать **доступность** мест сборки, удобство монтажных и регулировочных работ (рис. 97), требования по **недеформируемости** собираемых деталей и СЕ.

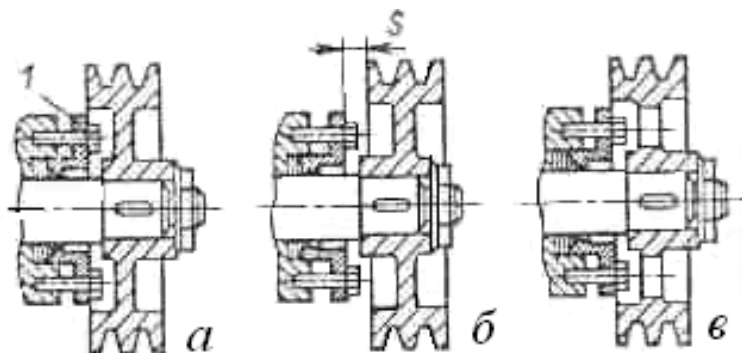


Рис. 97. Примеры конструкций, обеспечивающих доступ сборочного инструмента

Соединения СЕ при общей сборке должны происходить без межузловых пригонок и без разборки ранее собранных СЕ.

Дополнительные требования:

- конструкция СЕ должна исключать случаи неправильной установки деталей (рис. 98);
- в конструкции СЕ необходимо предусматривать удобную базовую деталь;
- при весе СЕ или деталей больше 20 кг предусматриваются захватные элементы.

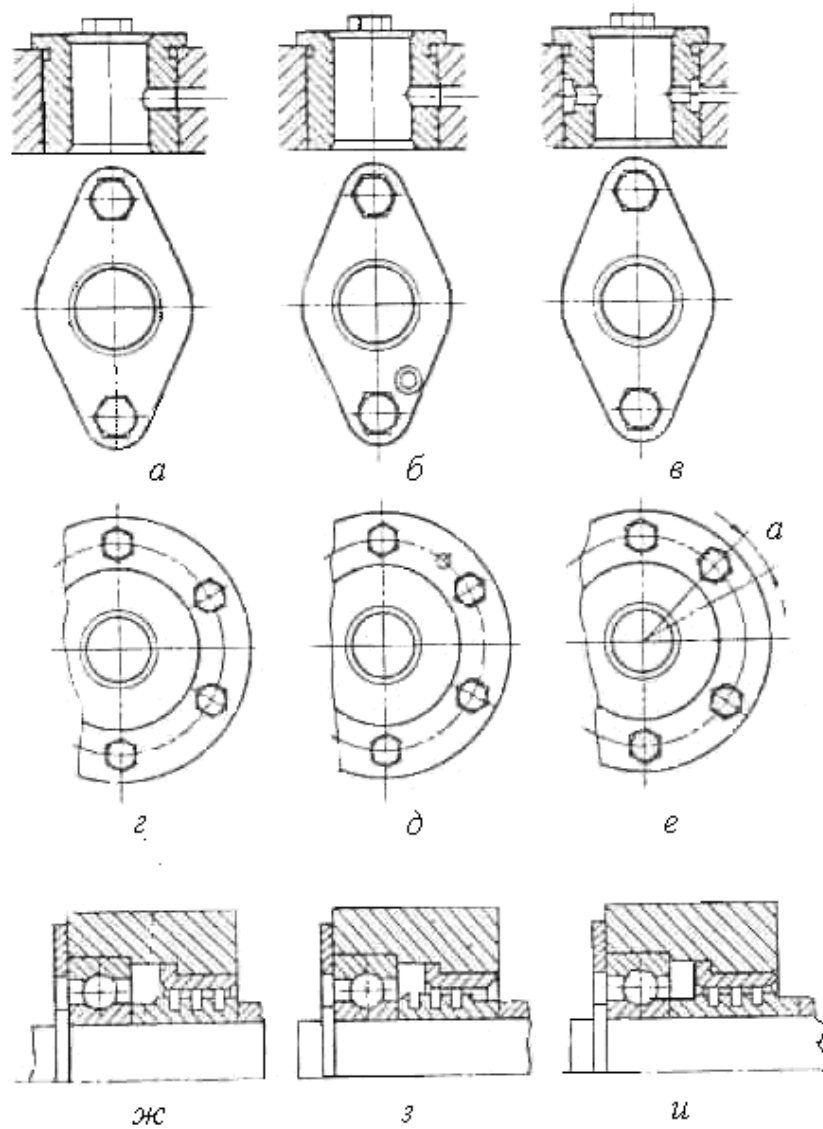


Рис. 98. Примеры конструкций, исключающих неправильную сборку

4.2. Общая методика проектирования ТПС

Проектирование ТПС – одна из задач ТПП. Мы будем рассматривать только вопросы, связанные с проектированием ТПС и оформлением ТД.

Виды ТПС:

- 1) единичный;
- 2) типовой;
- 3) групповой.

Уровень описания ТПС:

- 1) маршрутный;
- 2) операционный;
- 3) маршрутно-операционный.

Основные этапы разработки ТП устанавливает ГОСТ 14.301-83. Применительно к сборке можно выделить следующие этапы и задачи проектирования.

4.2.1. Анализ исходных данных для разработки ТПС

Исходные данные (базовая информация):

- сборочные чертежи изделия и СЕ всех порядков, спецификации;
- чертежи деталей;
- технические условия и технические требования;
- производственная программа;
- объем кооперирования;
- опытный образец (иногда);
- данные о сборочном производстве, где предполагается собирать изделие.

4.2.1.1. Выделение функциональных параметров (ФП)

Анализ исходных данных технолог начинает с выявления ФП, т.е. тех точностных характеристик изделия, которые определяют качество изделия (точность эксплуатационных параметров). ФП рассматриваются как замыкающие звенья сборочных размерных цепей.

Последовательность выделения ФП:

А. Изучается целевое назначение изделия и технических требований (ТТ) к нему:

- рассматриваются выходные (эксплуатационные) параметры (допуски на них) или основные характеристики;
- выделяется величина срока службы изделия;
- условия эксплуатации;
- возможность замены деталей и СЕ во время эксплуатации;
- выясняется, к какому механизму (агрегату) будет присоединяться изделие и какие дополнительные нагрузки оно будет при этом испытывать;
- программа выпуска изделия;
- техническая оснащенность предприятия-изготовителя.

Выделяют и анализируют только те ТТ, от которых зависит качество сборки (соблюдение точности положения, вращения, линейного перемещения и т.д. основных узлов и деталей относительно каких-либо базовых поверхностей или друг друга). Причем точностные характеристики не всегда задаются в явном виде, т.е. в цифрах.

Так, например:

а) для станков, силовых головок точностные характеристики являются основными показателями их качества (допустимое биение шпинделя, смещение оси передней бабки относительно заданной оси);

б) для двигателей, редукторов, подъемно-транспортных машин основными показателями качества являются не точностные характеристики, а, например, мощность, грузоподъемность, КПД, но точностные тоже во многом определяют качество.

Б. При необходимости ТТ уточняют и дополняют (из условий нормальной работы изделия или из требований стандарта), определяют в цифрах допустимые отклонения элементов конструкции.

В. Выясняют принципиальную возможность сборки:

а) детали в СЕ должны легко сочленяться со смежными;

б) в момент сборки ранее собранные детали не должны препятствовать установке других деталей;

в) аналогично для СЕ.

Г. Анализ точностных требований. При выделении ФП изделия (узла) тщательно анализируют эксплуатационные показатели, характеризующие назначение изделия. Выясняют, от каких геометрических параметров они зависят.

Например, для коробки передач обращают внимание на точность взаимного расположения блоков шестерен во всех допустимых положениях. В качестве ФП могут служить тогда величины зазоров между блоками (венцами зубчатых колес).

ФП всегда являются замыкающим размером в сборочной размерной цепи, поэтому сначала выявляют ФП и только потом – сборочную размерную цепь.

Д. Анализ сборочной размерной цепи проводят в определенной последовательности:

а) выявляют наихудшие в точностном смысле возможные положения элементов конструкции (при этом точностные параметры – наихудшие), например, в посадках с зазором – при S_{\max} и S_{\min} ;

б) определяют заложенные в конструкции методы компенсации погрешностей;

в) выбирают способ установки и настройки элементов. Способы настройки выбирают так, чтобы компенсировать максимальные погрешности изготовления (выбирают универсальный и специальный инструмент для регулировки);

г) по выбранным наихудшим взаимным положениям и способам регулирования составляют сборочную размерную цепь и проводят расчет;

д) сопоставляют полученные значения точностных параметров с допустимыми;

е) определяют способы контроля ФП и необходимые для этого инструмент и приборы.

4.2.1.2. *Определение типа производства по $K_{3,0}$*

Определяют $K_{3,0}$ и вид сборки по ГОСТ 14.320-81.

4.2.2. **Уточнение метода достижения точности при сборке**

Самое главное при выборе метода обеспечения точности сборки – применение ТЭО при назначении технологических допусков на изготавливаемые детали (лучше применение методов неполной и групповой взаимозаменяемости).

Выбранный метод предопределяет необходимость введения в ТП дополнительных операций. Выбор метода производится при анализе сборочных размерных цепей. При этом необходимо четко сформулировать задачи, которые требуется решить в процессе достижения точности изделия. Исходя из поставленных задач находят исходные (замыкающие) звенья и выявляют соответствующие им размерные цепи.

Размерная цепь – это совокупность функционально связанных размеров, образующих замкнутый контур и участвующих в решении поставленной задачи.

Каждый из размеров, образующих размерную цепь, называют **звеном размерной цепи**. Любая размерная цепь всегда имеет только одно исходное (замыкающее) звено и несколько составляющих звеньев.

Исходным звеном называют звено, к которому предъявляется основное требование точности, определяющее качество изделия в соответствии с ТТ. Если исходное звено в процессе сборки получается последним, замыкая размерную цепь, оно называется **замыкающим звеном**. Все остальные звенья называются составляющими. Они делятся на **увеличивающие** (при увеличении которых увеличивается замыкающее звено) и **уменьшающие** (при увеличении которых замыкающее звено уменьшается).

Обычно исходными звеньями являются расстояния между поверхностями или осями, их относительные повороты, которые требуется обеспечить при конструировании и изготовлении изделия.

Для выявления цепи необходимо идти от поверхностей (осей) деталей, образующих исходное звено, к поверхностям (осям) деталей, размеры которых оказывают влияние на исходное звено, до образования замкнутого контура. Замкнутость контура является одним из основных условий правильности ее построения. Каждая поставленная точностная задача решается с помощью единственной правильно построенной размерной цепи.

При размерном анализе встречаются два типа задач: прямая и обратная.

Прямая задача. По определенному из служебного назначения машины номинальному размеру и допуску (предельным отклонениям) исходного звена определяют номинальные размеры, допуски и предельные отклонения всех составляющих звеньев.

Обратная задача. По установленным номинальным размерам, допускам и предельным отклонениям составляющих звеньев определяют все параметры замыкающего звена (проверка прямой задачи).

Рекомендации по выбору метода достижения точности:

а) если $\sum_{i=1}^{n-1} T_i < T\Delta$, то выбирается метод полной взаимозаменяемости, где $T\Delta$ – допуск замыкающего звена; T_i – допуск i -го составляющего звена;

б) если $\sum_{i=1}^{n-1} T_i > T\Delta$, то выбирается метод неполной взаимозаменяемости. При этом, например, при принятом проценте риска 1 % допуска на составляющие звенья можно увеличить в 2,33 раза;

в) если количество размеров в цепи небольшое (3...4 шт.) и к ним предъявляются повышенные требования по точности, регулировка невозможна, то применяют метод групповой взаимозаменяемости;

г) в других случаях применяют методы пригонки и регулировки (их указывают на конструкторских документах).

4.2.3. Разработка схемы расчленения изделия

Вначале разрабатывают исходную (укрупненную) схему расчленения, т.е. изделие расчленяют на СЕ (узлы) 1-го порядка.

При этом учитывают **принципы**:

а) СЕ (узел) не должна быть большой по габаритам, массе и количеству входящих в нее деталей;

б) если в процессе сборки требуются проведение испытаний, специальная слесарная пригонка узла, то он выделяется в самостоятельную СЕ;

в) СЕ должны выделяться таким образом, чтобы исключить их последующую разборку;

г) трудоемкость сборки должна быть примерно одинаковой у всех СЕ.

При выделении СЕ придерживаются следующей классификации:

- а) 2...3 детали в составе – простейшие СЕ;
СЕ
- б) 4...6 – СЕ средней сложности;
- в) 8...10 – сложные СЕ;
- г) больше 12 – особо сложные СЕ.

От количества деталей в СЕ в значительной степени зависит сложность сборочного оборудования.

4.2.4. Разработка схемы сборки изделия

Последовательность сборки в основном определяется конструкцией изделия, компоновкой деталей, методами достижения точности и может быть представлена в виде **технологической схемы сборки** – наглядного изображения порядка сборки машины и входящих в нее СЕ. На таких схемах каждый элемент изделия обозначается прямоугольником, в котором указывают наименование составной части, позицию по спецификации, количество. Деталь или собранная ранее СС, с которой, присоединяя к ней другие детали и СЕ, начинают сборку изделия, называют **базовой деталью** или **базовой СЕ**. Процесс сборки изображается на схеме горизонтальной (вертикальной) линией, направленной от базовой детали к готовому изделию. Сверху и снизу от горизонтальной (справа и слева от вертикальной) линии показывают прямоугольники, условно обозначающие детали и СЕ в соответствии с последовательностью их присоединения к базовой детали. На схемах сборки также показывают места регулировки, пригонки и другие операции. Использование схем сборки целесообразно в любом производстве. В массовом и серийном производствах они позволяют быстрее освоить сборку сложных машин, когда еще не налажено ритмичное поступление деталей. В единичном и мелкосерийном производствах наличия схемы сборки обычно достаточно для осуществления сборочного процесса.

В дополнение к схемам сборки составляют типовые технологические инструкции с указаниями по выполнению специальных операций (посадка подшипников, балансировка, испытания и пр.).

Схема сборки является основой для проектирования ТПС. Сначала разрабатывается общая схема сборки, затем узловая. На общую сборку должно подаваться возможно большее число предварительно собранных СЕ и возможно меньшее – отдельных деталей. Общая сборка должна быть максимально освобождена от выполнения мелких сборочных соединений и различных вспомогательных работ. На рис. 99 приведена условная схема сборки червячного редуктора (наименования деталей и изделий взяты из спецификации, которая здесь не приводится).

4.2.5. Выбор методов сборки

Метод сборки – совокупность правил, определяющих содержание и последовательность действий при сборке, установленных безотносительно к наименованию, типоразмеру или исполнению изделия.

Выбор метода сборки основывается на конструктивно-технологической классификации видов соединений деталей машин. Существуют различные системы классификации, например, построенные по признакам подвижности и разъемности элементов, исходя из их функционального назначения.

Очевидно, что эти признаки определяют свойства соединения, но они не связаны с ТПС и не определяют технических средств (методов) его осуществления. Например, подвижность, хотя и является важным свойством соединения, но определяется конструкцией, а не технологией сборки. Технологические методы сборки могут быть одинаковые при сборке подвижных и неподвижных соединений.

4.2.6. Разработка технологического маршрута сборки

1. На основе выбранных технологических методов сборки определяется состав СО. Все СО делят на две группы:

Рис. 99. Схема сборки червячного редуктора

б) вспомогательные – направлены на обеспечение требуемого качества при выполнении основных, имеют типовую последовательность переходов (например, операции промывки, очистки, сушки, лужения).

2. Выбор рациональной последовательности СО (при этом учитывается требуемый уровень концентрации и дифференциации СО).

4.2.7. Выбор технологических баз

Выбор технологических баз производится на основе схемы сборки и маршрутного ТПС.

Технологические базы должны обеспечивать требуемую точность пространственного расположения деталей и СЕ, учитывать перемещение деталей в процессе их транспортирования, ориентации, сопряжения и закрепления. Окончательно формулируются требования к средствам технологического оснащения (СТО). В необходимых случаях при выборе баз проводят точностные расчеты.

В результате выбора технологических баз:

- окончательно уточняются состав и последовательность переходов;
- выбираются СТО;
- уточняется состав переходов по операциям.

4.2.8. Разработка операционной технологии

Решаются следующие задачи:

- проводится рациональное построение структуры СО (последовательности переходов);
- уточняются методы сборки и определяются режимы выполнения переходов;
- выбирается технологическая оснастка;

- выявляется возможность применения средств автоматизации и ПР;
- выполняется нормирование;
- проводится расчет загрузки сборочного оборудования;
- рассматриваются мероприятия по обеспечению точности функциональных параметров (замыкающих звеньев).

4.2.9. Оформление комплекта технологической документации

Оформление производится согласно требованиям стандартов ЕСТД, в первую очередь ГОСТ 3.1119-83, ГОСТ 3.1121-84.

В общем случае комплект технологической документации содержит следующие документы:

- маршрутную карту, в которой дают описание операций сборки и указывают сопутствующие операции в технологической последовательности выполнения;
- операционную карту для описания отдельных операций по переходам с указанием технологических режимов;
- карту эскизов для графических иллюстраций к документам на процессы и операции;
- карту технологической информации для указания переменной информации к групповому ТПС.

Практически основные правила оформления технологической документации на процессы сборки аналогичны правилам оформления документации на процессы механической обработки.

4.3. Нормирование сборочных работ

Норма времени – регламентированное время выполнения некоторого объема работ (сборки СЕ или изделия) требуемого качества в определенных производственных условиях одним или несколькими исполнителями соответствующей квалификации.

В зависимости от типа производства (выбор метода зависит от уровня описания ТПС) нормативы времени, применяемые для нормирования ТПС, разделяют:

- а) на **укрупненные** (по базовому варианту);
- б) **дифференцированные** (элементные).

По уровню разработки разделяют:

- а) на заводские;
- б) отраслевые.

Основные факторы, определяющие величину нормы:

- передовые приемы работы;
- рациональная технология и организация труда;
- использование новой техники;
- бесперебойное снабжение рабочего места (инструментом, деталями и пр.).

Норма времени задается в виде штучного или штучно-калькуляционного времени.

5. АВТОМАТИЗАЦИЯ СБОРОЧНЫХ ОПЕРАЦИЙ

Механизация и автоматизация слесарно-сборочных работ является важнейшей проблемой машиностроения, так как эти работы составляют значительную долю в общей трудоемкости изготовления машины. Так в массовом и крупносерийном производстве доля сборки в процентах от общей трудоемкости составляет 20–30 %, в серийном производстве – 25–35 %, в единичном и мелкосерийном – 35–40 %.

Следует отметить, что основная часть слесарно-сборочных работ – это ручные работы, требующие больших физических затрат. Доля ручных работ колеблется от 80–85 % в тяжелом машиностроении, до 45–50 % в автомобилестроении. Во всей промышленности автоматизировано пока около 7 % общего объема сборочных работ.

5.1. Характеристика основных этапов СО

Подходы к автоматизации СО:

- а) имитация деятельности слесаря-сборщика;
- б) дифференциация ТПС с выделением элементарных сборочных работ и затем их автоматизация (изделия делят на узлы из 2-3 деталей);
- в) использование ПР и сборочных центров.

Цель автоматизации СО: получить минимум затрат живого и прошлого труда, заложенного в средства автоматизации, при выпуске заданного числа изделий.

Стадии развития автоматизации СО:

- а) частичная механизация;
- в) частичная автоматизация;
- б) комплексная механизация;
- г) комплексная автоматизация.

Автоматизация СО более сложная задача, чем операций механической обработки. **Причины:**

1. Структурная сложность изделия (количество собираемых деталей больше двух), характер сопряжения деталей различен и определяется посадкой.

2. Многовариантность процесса сборки.

3. Наряду с обычным оборудованием используют автоматы и полуавтоматы. Могут применяться встроенные и отдельно расположенные ПР. Достигается повышение концентрации технологических переходов, а это ведет к повышению производительности труда.

4. Сборочные автоматы функционируют как взаимосвязанный комплекс – из технологического и вспомогательного оборудования komponуют АЛ, цеха, заводы. Автоматизируются процессы: сборки, контроля, регулирования, окраски, упаковки, консервации.

Предварительная типизация и классификация СО и их элементов (табл. 5) позволяют выделить группы СО по общим признакам, учитывающим условия автоматизации, и тем самым определяют возможность создания типовых схем и конструкций.

Практика показывает, что большинство процессов состоит из повторяющихся этапов и имеет аналогичную (типовую) структуру.

Рассмотрим классификацию ВНИТИприбор. Любая СО распадается на ряд последовательных **этапов** (см. табл. 5):

- а) подача деталей к месту сборки;
- б) ориентация деталей относительно друг друга;
- в) сопряжение деталей;
- г) закрепление деталей;
- д) контроль;
- е) съем узла и транспортирование его на другую СО.

Этапы **б**, **в** и **г** – специфичные (характерны только для ТПС). Они наиболее полно характеризуют применяемые технологические методы сборки (монтаж, сварка, клепка и т.п.).

Таблица 5

Общая характеристика этапов СО

Этапы СО	Признаки классификации СО	Технические устройства
Этап а Этап б	- форма детали; - требования к качеству поверхности; - исходная степень ориентации; - возможность автоматизации	Бункерные загрузочные устройства, кассеты, магазины, накопители, отсекатели, питатели и пр.
Этап в	- форма поверхностей, по которым происходит сопряжение	Сборочные автоматы, ПР, направляющие устройства
Этап г	- метод силового замыкания	Гайковерты, прессы, пневмоотвертки, сварочные автоматы и пр.
Этап д : - наличия	- массогабаритные характеристики	Датчики

- положение	- характер размеров, связывающих взаимное положение	Измерительные машины, оптические приборы и пр.
- качества сборки	- характер контролируемых размеров	Испытательные стенды, измерительная аппаратура
Этап е	- метод съема (сбрасыванием, ...)	Конвейеры, ПР, механизмы, манипуляторы

Этапы **а, б, в** совмещаются при ручной сборке, т.е. в зависимости от применяемых средств автоматизации и механизации структура СО может видоизменяться.

Этапы а, б. Методы подачи имеют особенности (по сравнению с механической обработкой), вызванные сложной геометрической формой деталей, повышенными требованиями к качеству поверхностного слоя, требованиями более точного положения для осуществления сопряжения.

В отличие от механической обработки на позицию сборки поступает **несколько** собираемых деталей в определенной последовательности, причем при подаче детали должны одновременно ориентироваться, поэтому важным является определение **степени ориентации** собираемых деталей и возможности их дальнейшей ориентации.

Таким образом, исходная степень ориентации деталей и возможность их механизированной подачи с ориентацией являются главными признаками, определяющими этапы **а** и **б**.

Этап в. Основной признак этапа – геометрическая характеристика – **форма поверхности**, по которой происходит сопряжение. Этот признак выбран исходя из связи формы контакта деталей с характером движения сборочного инструмента, осуществляющего данный этап СО.

Этап г. Основной признак этапа – **метод силового замыкания**, определяющий физическую сущность процесса сборки, а значит, и необходимые для его осуществления средства. Например, следующие методы: свинчивание, пластическое деформирование, сварка, пайка, склеивание.

Этап д. Основные признаки выбирают в зависимости от контролируемых параметров. Можно выделить три группы контроля:

1) **контроль наличия деталей** – важнейшее средство предупреждения поломок оборудования, требующее более простых устройств, так как при этом обычно не проверяются размерные, прочностные и другие параметры деталей;

2) **контроль положения деталей** – направлен на проверку качества выполнения этапов **б** и **в**;

3) **контроль качества сборки** – применяют более сложные устройства, проверяющие соответствие собираемого изделия чертежам и ТУ.

Этап е. Основной признак этапа – **метод съема** (сбрасыванием или ориентированная укладка в тару). При укладке в тару применяют более сложные механизмы, конструкция которых зависит от формы изделия и степени сложности его ориентации.

5.1.1. Применяемые технические средства автоматизации

1. **Бункерно-загрузочные устройства (БЗУ)** – обеспечивают полную или частичную ориентацию и подачу заготовок, загруженных в бункер навалом.

2. **Накопители** – служат для накопления и выдачи предварительно ориентированных заготовок. Примеры: магазины, лотки.

3. **Отсекатели** – служат для поштучной (или определенными порциями) выдачи заготовок из накопителя на сборочную позицию автомата.

4. **Питатели** – устройства для передачи заготовок после освобождения из отсекателя на сборочную позицию. Питатели направляют деталь для точного соединения ее с сопрягаемой деталью. Для этого используются направляющие устройства и досылатели, принудительно подающие деталь в заданное (требуемое) положение.

5. **Устройства для получения соединений** – для соединений, требующих значительных усилий (прессовые, развальцовка, клепка и др.).

6. **Устройства, выполняющие специальные функции** (смазку, обдувку и пр.).

7. **Устройства, контролирующие правильность выполненного соединения** (взаимное положение, размеры, герметичность и пр.).

8. **Механизмы для удаления собранного изделия** из автомата в тару или на транспортер без изменения ориентации.

5.1.2. Технологичность деталей для автоматической сборки

1. Детали должны иметь простые и симметричные формы, упрощающие их ориентацию при выдаче из БЗУ на позицию сборочного автомата.

2. Автоматической ориентации должны подвергаться детали малых и средних размеров (до 100 мм). Детали больших размеров ориентируются вручную.

3. Главные факторы, определяющие сложность автоматического ориентирования деталей в БЗУ:

- число осей симметрии;
- число плоскостей симметрии;
- соотношение габаритных размеров.

4. Детали, подлежащие ориентации, делят на три группы:

а) имеющие ось вращения. Могут также иметь (ориентация упрощается) или не иметь дополнительно плоскости симметрии, перпендикулярные оси вращения;

б) имеющие плоскости симметрии: три плоскости симметрии, две плоскости симметрии, одна плоскость симметрии;

в) не имеющие плоскостей симметрии. Ориентация усложняется из-за увеличения числа различных положений детали на лотке.

5. Деталям, по возможности, необходимо увеличивать число плоскостей симметрии (для упрощения систем пассивной или активной ориентации в БЗУ соответственно уменьшается число

сбросов неправильно ориентированных деталей или число ориентирующих устройств, изменяющих положение детали на лотке).

6. Если автоматическая ориентация становится невозможной (например, несимметричность деталей выражена слабо), то изменяют конструкцию деталей (добавляют уступы, срезы, отверстия и др., усложняя механическую обработку). Примеры изменения конструкции СЕ приведены на рис. 100–104.

7. Должна быть исключена возможность сцепления деталей при транспортировке (рис. 105–108).

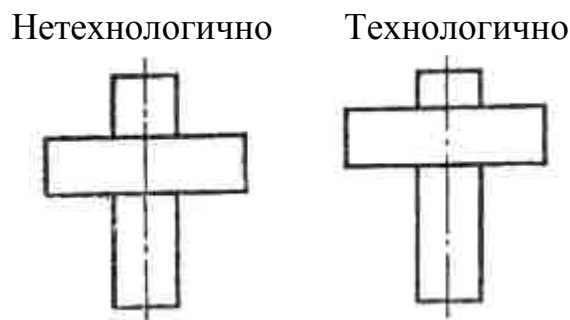


Рис. 100. Способ усиления асимметричности конструкции деталей

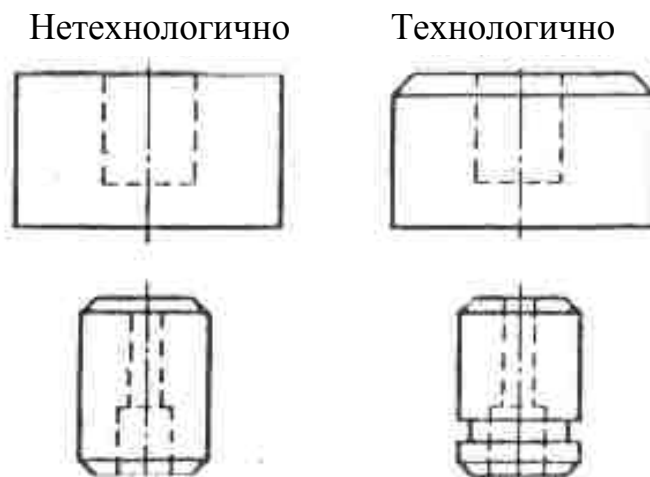


Рис. 101. Отличительный элемент на наружной поверхности асимметричных деталей

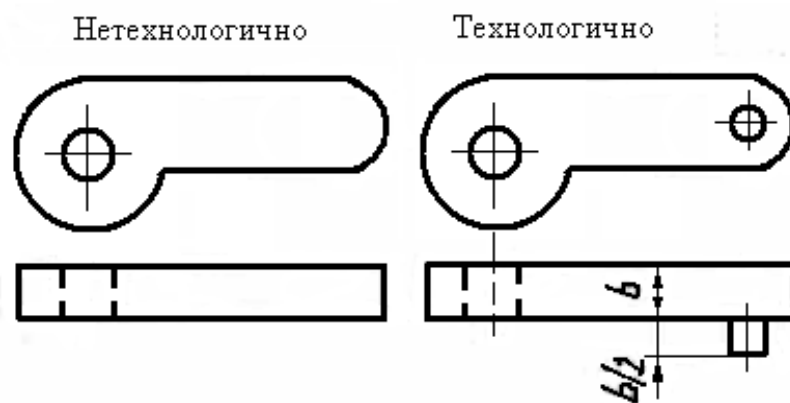


Рис. 102. Дополнительный конструктивный элемент для удобства ориентирования детали

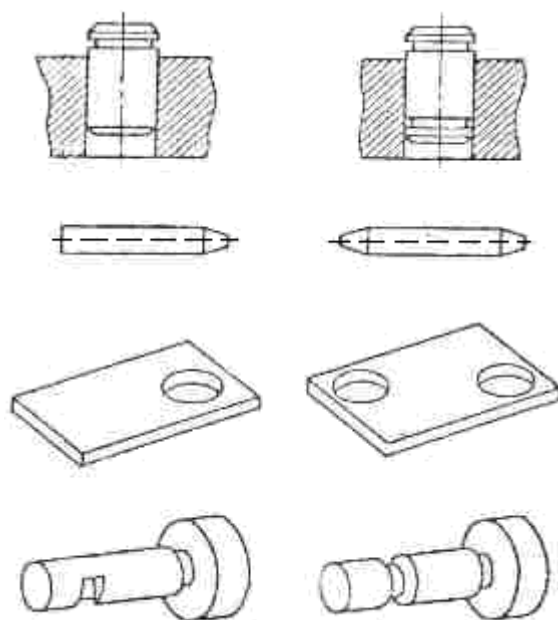


Рис. 103. Способы получения симметричных конструкций деталей

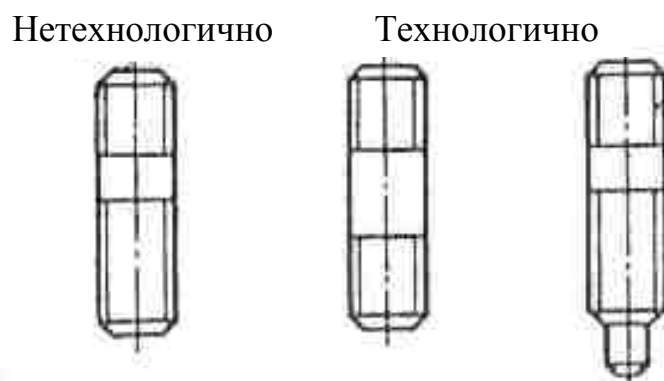


Рис. 104. Способы улучшения технологичности конструкции шпилек для лучшего ориентирования

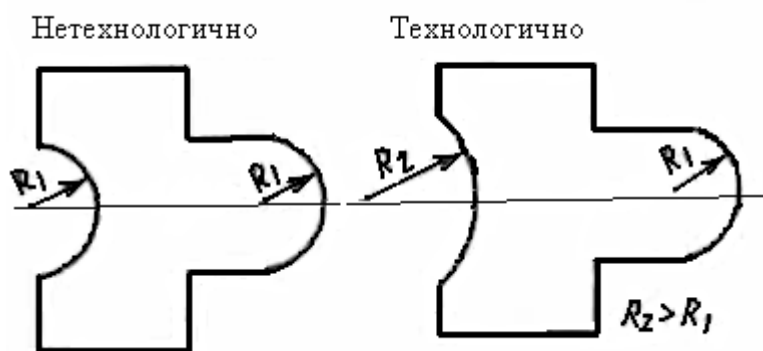


Рис. 105. Способ улучшения технологичности конструкции деталей с внутренними и внешними криволинейными поверхностями

Нетехнологично



Технологично

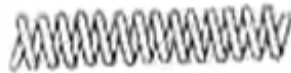
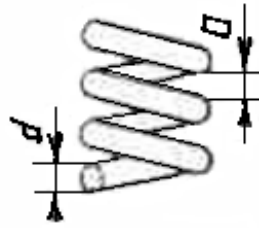
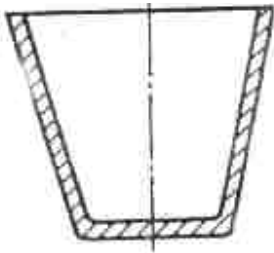


Рис. 106. Способы улучшения технологичности конструкции пружин

Нетехнологично



Технологично

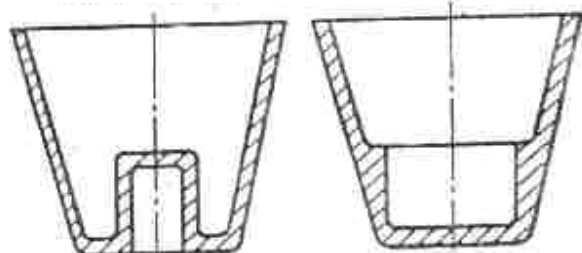


Рис. 107. Способы улучшения технологичности конструкции деталей типа стаканчиков

Нетехнологично



Технологично

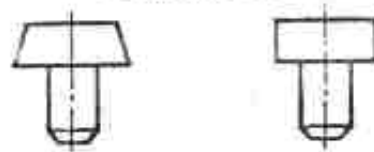


Рис. 108. Способы улучшения технологичности деталей для избежания заклинивания в направляющих

8. Детали, сопрягаемые с зазором или натягом (а также резьбовые детали), необходимо выполнять с фасками или направляющими элементами (рис. 109).

9. К базовым деталям предъявляются требования по простоте и легкости закрепления на сборочной позиции.

10. Необходимо стремиться уменьшить количество деталей в узле за счет изменения их конструкции (рис. 110, 111).

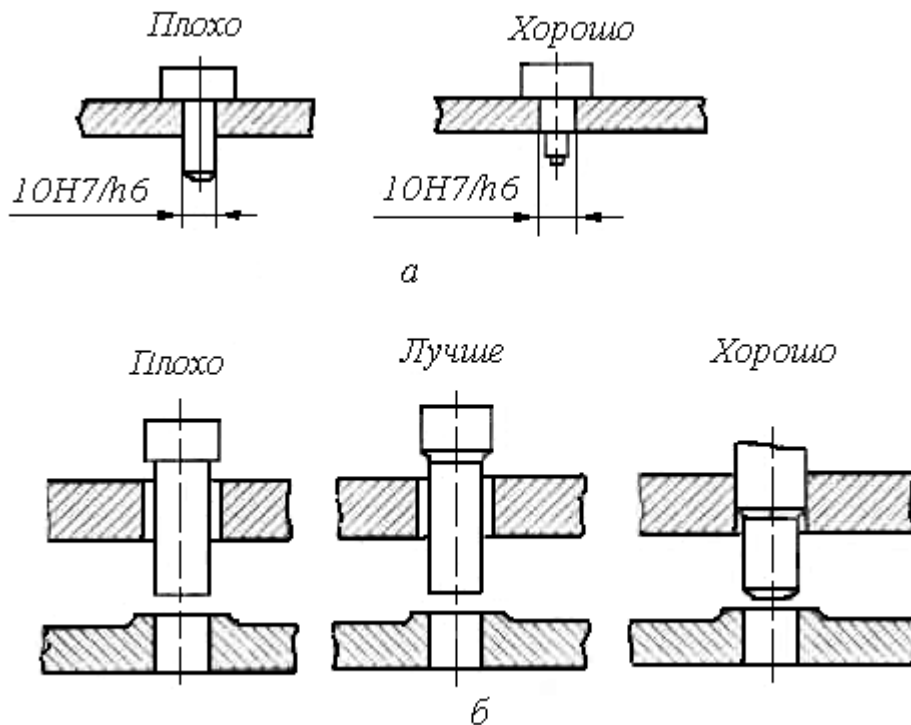


Рис. 109. Изменения в конструкциях деталей, облегчающие выполнение сопряжений

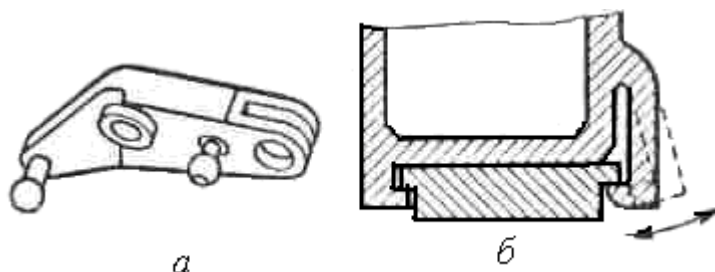


Рис. 110. Использование элементов конструкций деталей для сокращения их количества в СЕ:

a – объединение присоединительных элементов СЕ

(коромысло карбюратора с литым шарниром); б – изменение способа фиксации (эластичный замок)

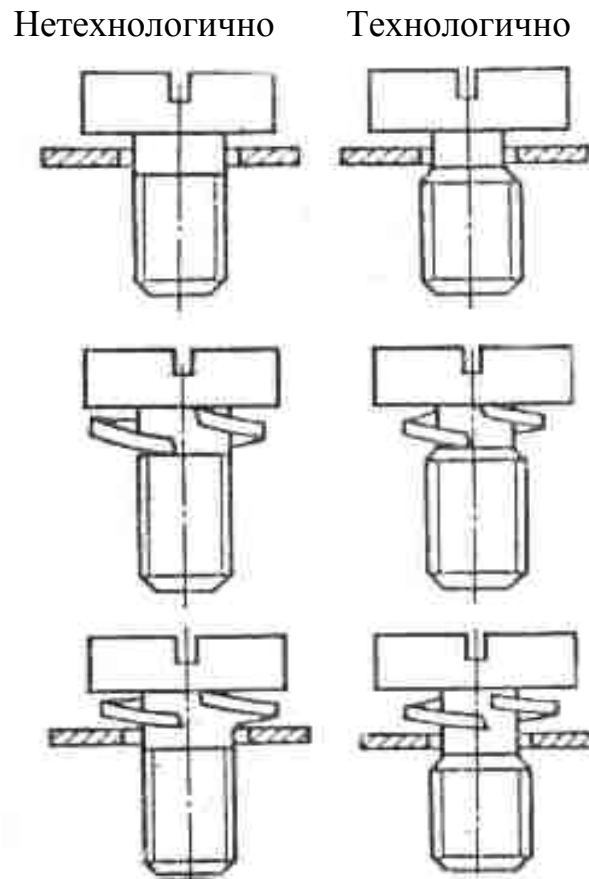


Рис. 111. Способы образования комплектов крепежных деталей

Дополнительные требования:

1. Унификация входящих в изделие деталей.
2. Конструктивные формы деталей должны обеспечивать их сборку при простых прямолинейных (желательно сверху вниз) движениях.
3. Расположение крепежных деталей должно обеспечивать возможность применения многоинструментальных головок.

5.2. Характеристика основных этапов и методов сборки

5.2.1. Автоматическая ориентация деталей

На СО детали поступают тремя способами:

- а) навалом (нулевая исходная степень ориентации);
- б) в кассетах или таре для транспортировки;
- в) в магазинах.

А. Навалом: до поступления на сборку детали должны быть промыты и очищены. Обычно детали подаются к сборочному автомату в таре или засыпаются в бункер навалом, из которого в ориентированном виде попадают на сборочную позицию автомата. Чаще всего применяют ВБЗУ – вибробункерные загрузочные устройства.

Ориентация в ВБЗУ может быть **пассивной** и **активной** (рис. 112, 113).

Пассивная – путем удаления с лотка ВБЗУ деталей, занимающих неправильное положение. Наибольшее распространение получили способы удаления деталей:

- а) в профильные вырезы;
- б) с помощью упоров (сбрасывателей);
- в) использование смещенного центра тяжести детали.

Недостатки пассивной ориентации: уменьшение производительности, недостаточная надежность.

Активная – путем принудительного изменения положения деталей на вибрлотке без сбрасывания их в бункер. Осуществляется следующими способами:

- а) применением порошков;
- б) применением окон для деталей со смещенным центром тяжести;

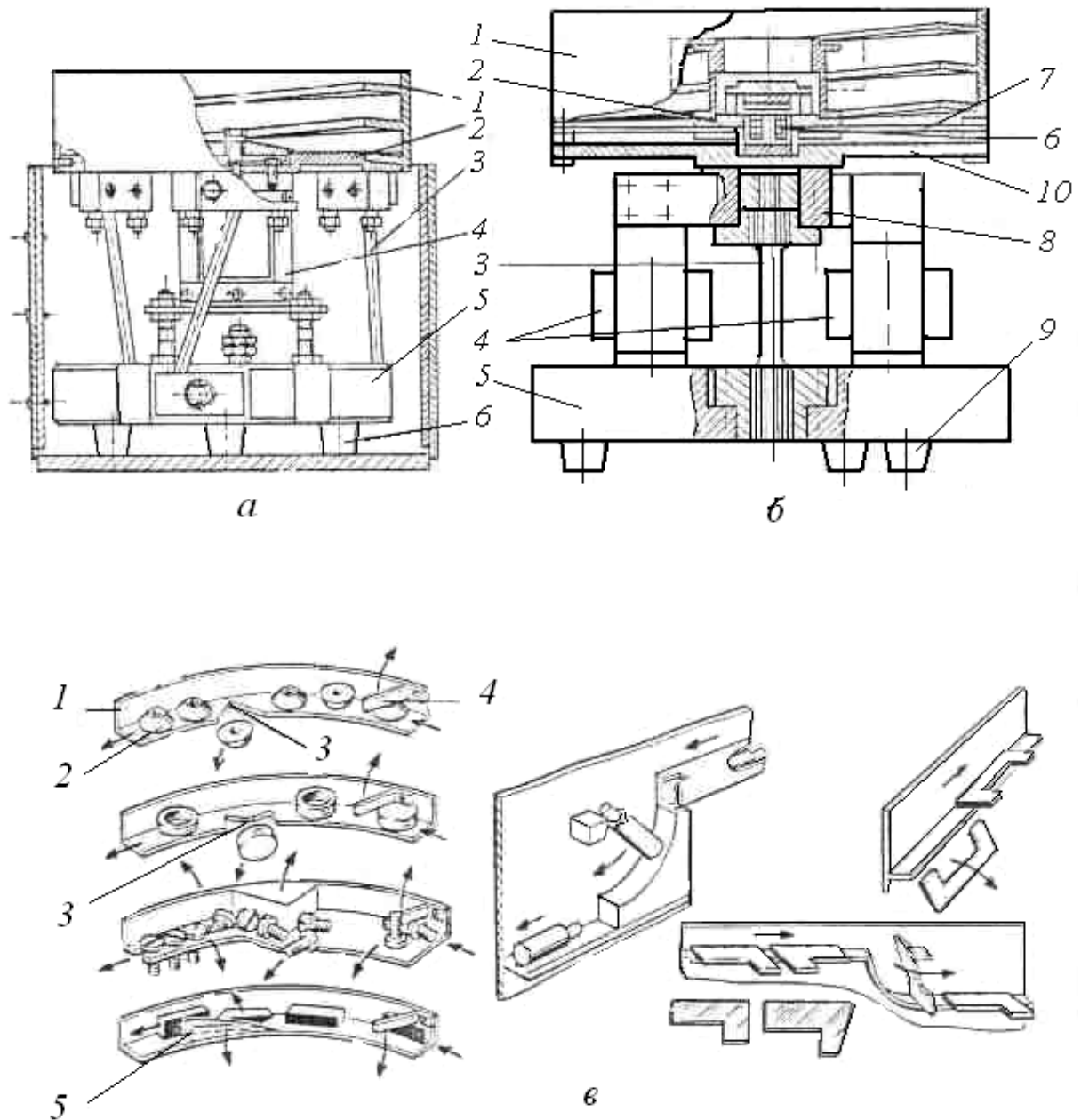


Рис. 112. Вибрационные бункерные загрузочные устройства:
a – ВБЗУ с объединенным приводом (*1* – чаша; *2* – днище;
3 – пружинные подвески; *4* – общий электромагнитный привод;
5 – массивное основание ВБЗУ; *6* – амортизаторы); *б* – ВБЗУ
с отдельным приводом (*1* – чаша; *2* – основание бункера;
3 – упругая вертикальная стойка; *4* – сдвоенный
электромагнитный привод крутильных колебаний; *5* – массивное
основание ВБЗУ; *6* – электромагнитный привод вертикальных
колебаний; *7* – плоская пружина; *8* – обойма; *9* – амортизаторы;
10 – дно чаши); *в* – механизмы ориентации (*1* – лоток;
2 – перемещаемые изделия; *3, 4, 5* – механизмы ориентации)

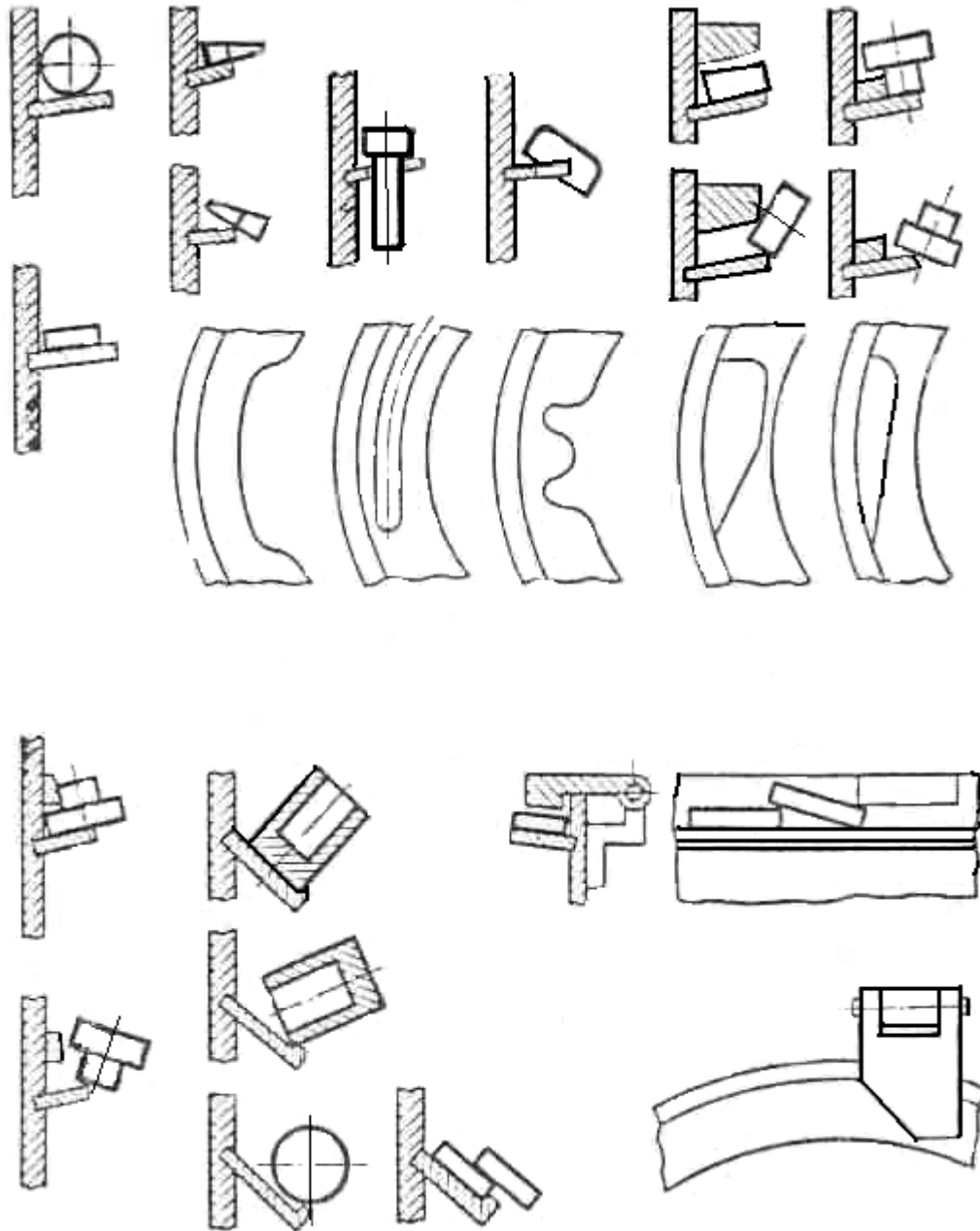


Рис. 113. Некоторые варианты ориентации заготовок на лотках ВЗУ

в) опрокидыванием в требуемое положение сжатым воздухом;

г) магнитным полем для несимметричных токопроводящих деталей.

Достоинства активной ориентации: нет потерь производительности; достаточная надежность.

Недостатки: усложнение конструкции ориентатора; резкое снижение производительности при отказах.

Б. В кассетах: кроме ВБЗУ детали в сборочные автоматы подаются из кассет, представляющих собой плиты с углублениями (ячейками) для деталей, находящихся там в ориентированном положении.

Используют два типа кассет:

- 1) для деталей цилиндрической формы, расположенных по спирали или концентрическим окружностям;
- 2) для деталей призматической формы, расположенных параллельными рядами.

Кассеты используются для малогабаритных деталей. Емкость кассет рассчитана на несколько часов работы. Кассету заряжают вручную или на вибростенде, устанавливают на автомате в строго фиксированное положение, подача деталей на позицию сборки производится манипулятором. Применение кассет улучшает условия переналаживания сборочного оборудования.

В. В магазинах: используют при длительном цикле сборки, когда не нужен большой запас деталей. Применяют для деталей (рис. 114):

- а) сложной формы;
- б) крупногабаритных;
- в) хрупких и легкодеформирующихся;
- г) с точными и чистыми поверхностями.

Три типа магазинов:

- 1) лотковые – детали перемещаются под действием сил тяжести и внешней нагрузки;
- 2) ящичные – детали располагаются в несколько рядов (длинные детали);
- 3) поворотные – для плоских деталей типа шайб, дисков, пластин.

Перед загрузкой в магазины детали очищают от стружки, смазки, грязи, СОЖ, промывают, затем – сплошной контроль (при устойчивом ТПС – выборочный контроль).

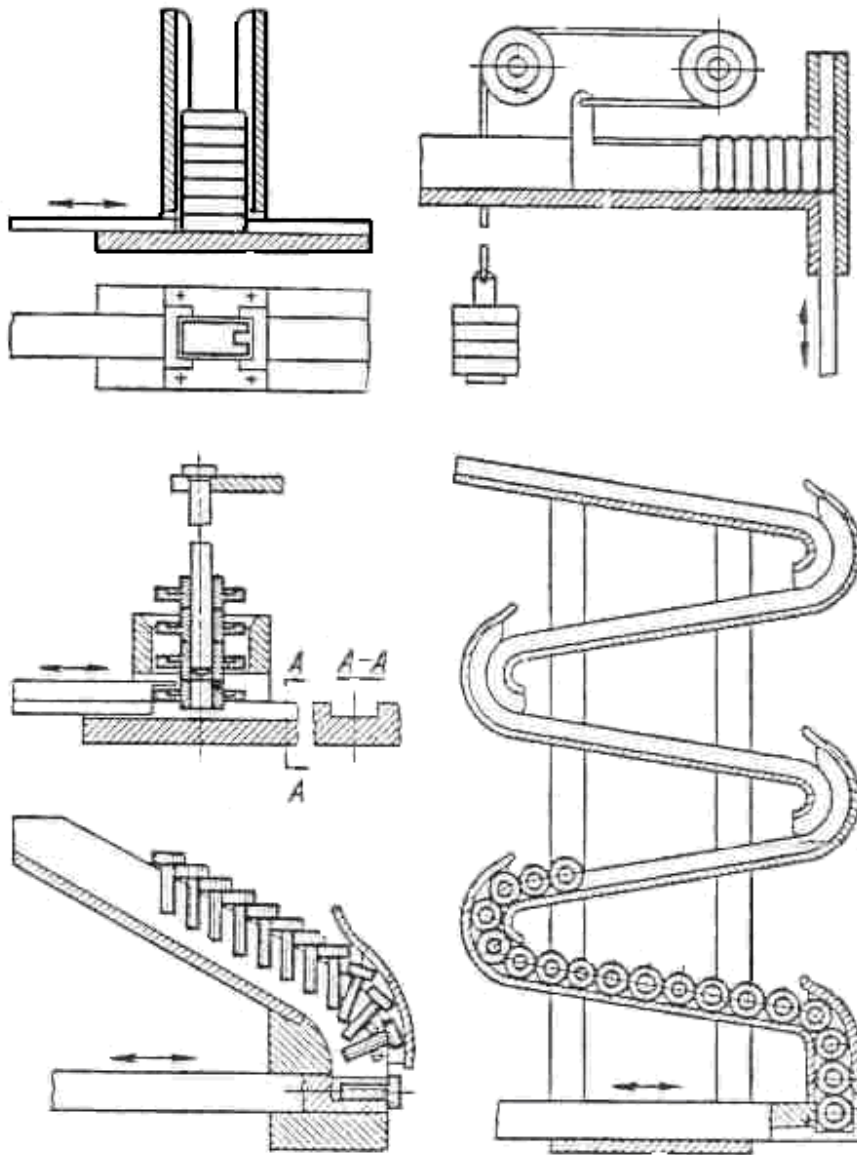


Рис. 114. Магазиные загрузочные устройства для заготовок, закладываемых штабелем в один ряд

5.2.2. Сборка сопряжений по цилиндрическим поверхностям с гарантированным зазором

Надевание втулок, колец, шайб на шейки валов, осей или посадка этих деталей в отверстия корпусов. Одна деталь (базовая) занимает неподвижное положение в сборочном приспособлении, а другая, направляемая специальными устройствами, надевается (вставляется) на первую.

В производственных условиях невозможно точно совместить оси сопрягаемых деталей.

При жестком закреплении этих деталей их полная (100%-я) собираемость может быть достигнута, если наибольшее смещение осей E не более радиального S_{\min} в сопряжении (рис. 115). На рис. 115, *а* – расположение полей допусков вала и отверстия на радиусы сопрягаемых поверхностей ($T_B/2$ и $T_A/2$) при смещении $E = 0$ (100%-я собираемость). На рис. 115, *б* – при смещении $E = S_{\min}$ (тоже 100%-я собираемость). На рис. 115, *в* – при смещении $E = S_{\min} + a$, где a – перекрытие полей допусков, полной собираемости нет.

Величина E рассматривается как замыкающее звено в технологической системе сборочной машины и определяется путем расчета размерной цепи. Для направления (центрирования) на сопрягаемых деталях делают заходные фаски (при $b < 45^\circ$ улучшается центрирование деталей и уменьшается осевая сила сборки).

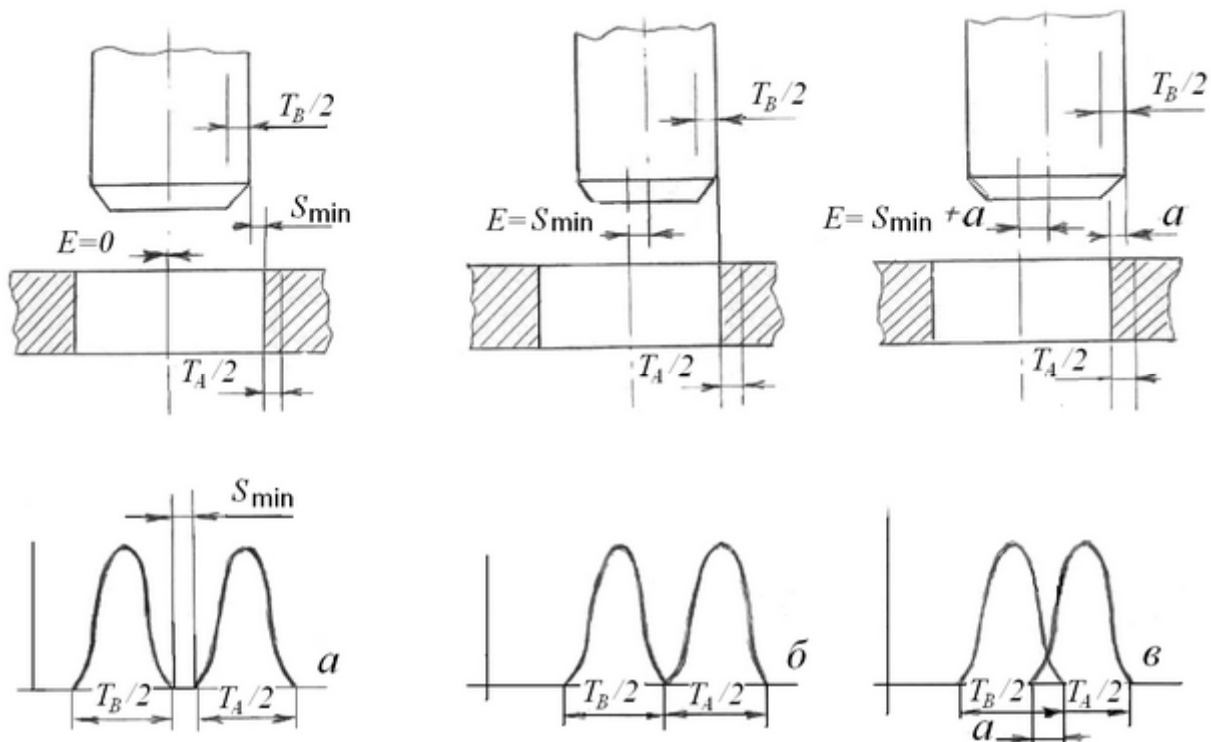


Рис. 115. Схемы расположения полей допусков

Сборка по цилиндрическим поверхностям с заходными фасками состоит из трех этапов:

а) подвод одной из сопрягаемых деталей к другой до контакта по фаскам;

б) скольжение подведенной детали по фаске под действием силы тяжести до совмещения осей деталей;

в) перемещение деталей с обеспечением осевого положения.

Два метода сборки с гарантированным зазором:

а) под действием силы тяжести присоединяемой детали;

б) принудительный метод за счет дополнительной осевой силы сборки.

Метод **а** возможен при следующих условиях:

1. Вертикальное положение осей деталей.
2. Масса верхней детали более 0,3 кг.
3. Сопрягаемые диаметры – 10...20 мм.
4. Большие зазоры (сотни мкм).
5. Центр тяжести находится на оси детали (иначе перекося).

Метод **б** более надежен. Используют различные досылатели (например, гидро- и пневмоцилиндры с удлиненным штоком). Иногда для повышения надежности применяют виброискатели для обеспечения перемещения одной детали относительно другой.

5.2.3. Сборка сопряжений по цилиндрическим поверхностям с гарантированным натягом

Два основных метода:

- 1) продольная (силовая);
- 2) поперечная (температурная).

Первый метод:

- подвод до касания фасок;
- запрессовка;
- досылка до требуемого положения;
- контроль (по силе запрессовки или числу ударных импульсов).

Наиболее распространенный и простой процесс. Его применяют при относительно небольших натягах (до $0,001d$, где d – номинальный диаметр соединения). При таком способе микронеровности частично сминаются и натяг уменьшается, поэтому шероховатость посадочных поверхностей назначают в пределах $Ra \leq 1,25$ мкм. Качество запрессовки контролируют ультразвуковым методом (прохождение ультразвука зависит от давления в стыке).

Второй метод:

- нагрев в масле до 150 °С, в туннельном конвейере нагревательной установки до 250 °С, индуктором до 350 °С;
- сборка;
- охлаждение деталей.

Температура нагрева охватывающей детали рассчитывается по формуле

$$t = \frac{N_{\max} + S_{\text{сб}}}{\alpha d} + t_{\text{сб}},$$

где N_{\max} – максимальный натяг в соединении, мм; $S_{\text{сб}}$ – минимально необходимый зазор при сборке (табл. 6); α – коэффициент линейного расширения материала детали, град⁻¹; d – диаметр соединения, мм; $t_{\text{сб}}$ – температура в помещении сборки, град.

Таблица 6

Значения $S_{\text{сб}}$ и α

Диаметр соединения d , мм	Зазор $S_{\text{сб}}$, мм	Материал	α , град ⁻¹
1–3	0,002	Сталь незакаленная закаленная	$11,5 \cdot 10^{-6}$ $12,0 \cdot 10^{-6}$
3–6	0,004		
6–10	0,005		
10–18	0,006	Чугун	$(10–11,4) \cdot 10^{-6}$
18–30	0,007	Бронза	$17,5 \cdot 10^{-6}$
30–50	0,009	Латунь	$(17–21) \cdot 10^{-6}$
50–80	0,010	Дюралюминий	$22,6 \cdot 10^{-6}$
80–120	0,012	Титановые сплавы	$8,4 \cdot 10^{-6}$
120–180	0,014	Цинковые сплавы	$27,7 \cdot 10^{-6}$
180–250	0,015		

250–315	0,017
315–400	0,018
400–500	0,020

5.2.4. Сборка резьбовых соединений

Этапы сборки:

- наживление крепежных деталей;
- завертывание;
- затяжка;
- стопорение.

Требования к конструкции деталей (для автоматической сборки):

1. Доступность расположения резьбовых деталей.
2. Межосевое расстояние резьбовых отверстий более пяти диаметров резьбы (иначе нельзя применять многошпindelные головки).
3. Траектория движения завертывающих устройств должна быть прямолинейна.
4. Оси резьбовых отверстий с каждой стороны детали должны быть параллельны.
5. Размеры и форма резьбовых элементов должны быть унифицированы.

Вид резьбового соединения (определяет возможность автоматизации):

1. **Болтовое соединение** – неудобно для автоматизации сборки, так как ТП состоит из большого числа переходов (болт необходимо придерживать от проворачивания), для этого требуется около 20 исполнительных устройств, последовательно и надежно работающих.

2. **Винтовыми шпильками** – меньше переходов, около 15 исполнительных устройств, но для обеспечения натяга шпильки сортируют по трем посадкам. Иногда натяг обеспечивают за счет клея (марок ВС-350, Л-4).

3. **Винтовое соединение** – удобно для автоматизации сборки. Использование винтов с потайной головкой (конической) обеспечивает стопорение без применения шайб. Необходимо около 10 исполнительных устройств.

4. **Резьбообразующие винты** – перспективны, хорошее стопорение без шайб. Используются для мягких материалов (похожи на шурупы).

Форма головок:

1. Наружный или внутренний шестигранник – обычная форма. Удобна для захвата торцовым ключом и передачи $M_{кр}$ при наживлении и затяжке (при наличии фаски у ключа), возможна передача больших $M_{кр}$.

2. Головки со шлицами менее удобны, поэтому для центрирования отвертки применяют направляющую втулку. Недостаток: меньшие $M_{кр}$ из-за смятия шлицев.

3. Головки с крестообразным шлицем обеспечивают хорошее центрирование и значительный $M_{кр}$. Удобны для автоматизации, число оборотов инструмента не более 500 об/мин, осевая сила не более 10 Н.

4. Головки цилиндрической и полукруглой формы – для стопорения ставят 1-2 шайбы на винт, причем до накатки резьбы, чтобы не разбирались.

Допустимый угол перекоса осей винта и гайки (чтобы не было заедания и смятия резьбы) в момент наживления

$$b \leq \arctg \frac{0,5P}{d},$$

где P – шаг резьбы; d – наружный диаметр резьбы.

Затяжку крепежных деталей в групповом соединении осуществляют предварительно и окончательно в определенной последовательности для устранения деформации (рис. 116).

Три схемы сборки резьбовых соединений:

1. На одно- и многошпиндельных установках для резьб диаметром менее М8. Эта схема применяется, если не требуется равномерная затяжка крепежных элементов в определенной последовательности в несколько этапов.

2. Схема сборки выполняется на двух устройствах. На первом – наживление и предварительное закручивание. Затем на втором – одновременная затяжка всех крепежных элементов с заданным $M_{кр}$. Для резьб М8...М16 при сборке ответственных соединений.

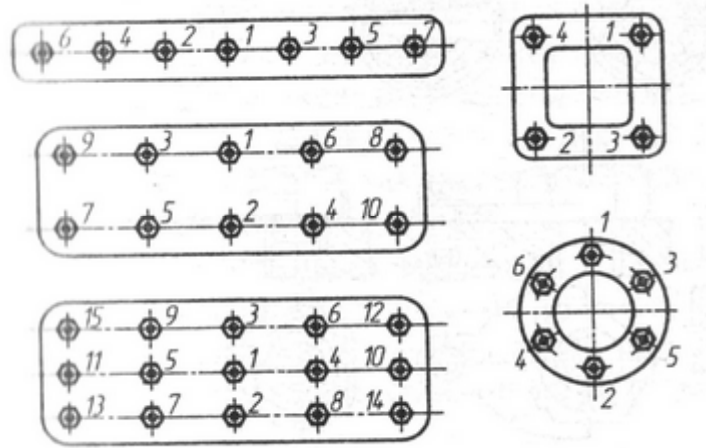


Рис. 116. Последовательность затяжки крепежных деталей

3. Схема с ручным наживлением и передачей на многошпиндельную установку для одновременного закручивания и затяжки. Для резьб более М14 для ответственных соединений.

Схемы 2 и 3 можно дополнить ручной (контрольной) затяжкой с помощью тарированных или динамометрических ключей.

5.2.5. Сборка заклепками

Технологичны для автоматизации сборки. Оборудование – проще, надежнее, времени нужно меньше, а качество выше. Применяют для прочных, герметичных, неразъемных соединений, когда нагрев деталей нежелателен (узлы приборов, сепараторы шарикоподшипников, плоские пружины, термообработанные детали) или при сборке разнородных изделий (сталь-чугун, металл-пластмасса).

При диаметре заклепок до 10 мм применяют холодную заклепку. Замыкающую головку формируют ударами или давлением (прессовая) – более качественная и бесшумная.

Этапы ТП клепки:

1. Подготовка отверстий: а) пробивка; б) сверление.
2. Прижатие деталей, что повышает прочность соединения на 15–20 %.

3. Получение замыкающей головки двумя способами:

- прямой – закладная головка упирается в подложку, а замыкающая обжимается под действием сил;
 - обратный – силу прикладывают к закладной головке.
- Удобнее, так как заклепки вводятся сверху.

Оборудование для клепки:

- прессы – заклепки вставляют вручную;
- полуавтоматы – вставляют подающие устройства;
- автоматы – все этапы автоматически.

Этапы автоматической клепки:

1. Установка сопрягаемых деталей в ориентированном положении в сборочном приспособлении манипулятором или вручную.
2. Вставка заклепок в отверстия деталей.
3. Осадка замыкающих головок предварительным сжатием деталей.
4. Удаление собранного изделия в тару или на следующую СО.

5.2.6. Сборка склеиванием**Этапы:**

1. Очистка и обезжиривание.
2. Нанесение клея и подсыхание.
3. Соединение деталей и фиксация.
4. Полимеризация клея.
5. Контроль соединения.

Рассмотрим подробнее этапы 1 и 2:

1. Очистка выполняется: стальными щетками, пескоструйными аппаратами, травлением в ваннах. Обезжиривание выполняется в ваннах с органическими растворами (или с горячими

щелочными), после этого ополаскивают водой и сушат горячим воздухом. Все это – механизировано или автоматизировано на подвесном конвейере с емкостями для мелких деталей.

2. Клей наносят методами:

а) пульверизацией – для больших, ровных, открытых поверхностей;

б) роликом – для небольших поверхностей;

в) окунанием – для малогабаритных поверхностей (при соединениях ось – втулка или шпилька – корпус окунанию подлежат оси и шпильки). Недостаток этих методов: клей на ролике или пульверизаторе засыхает через 30–60 мин.

Перспективы: сухие твердые клеевые порошки.

Основные недостатки склеивания:

а) сложность контроля;

б) продолжительность полимеризации (от 30 мин при горячем способе, до нескольких часов – при холодном).

5.2.7. Сборка пайкой

Пайка предназначена для получения прочных и герметичных соединений.

Для автоматизации сборки пригодны **методы пайки**:

1) индукционный;

2) в печи;

3) погружением;

4) газоплазменный.

Этапы автоматической пайки (рис. 117):

1. Очистка и обезжиривание деталей в ваннах погружением растворителями или щелочами.

2. Промывка и сушка горячим воздухом.

3. Придание нужного положения. Фиксация для пайки – взаимным центрированием в специальном приспособлении.

4. Внесение флюса (канифоль, хлорид цинка, нашатырь, фосфорная кислота и др.) и припоя в место соединения. Флюс – в

распыленном виде (для обеспечения смачиваемости металла детали припоем и очистки от оксидных пленок). Припой подается в зону пайки в виде пасты, включающей флюс, связывающее вещество, проволочные кольца, шайбы, пластины из припоя.

5. Местный или общий нагрев.
6. Охлаждение.
7. Промывка для удаления флюса.

Пайку малогабаритных изделий осуществляют окунанием в ванну с расплавленным припоем.

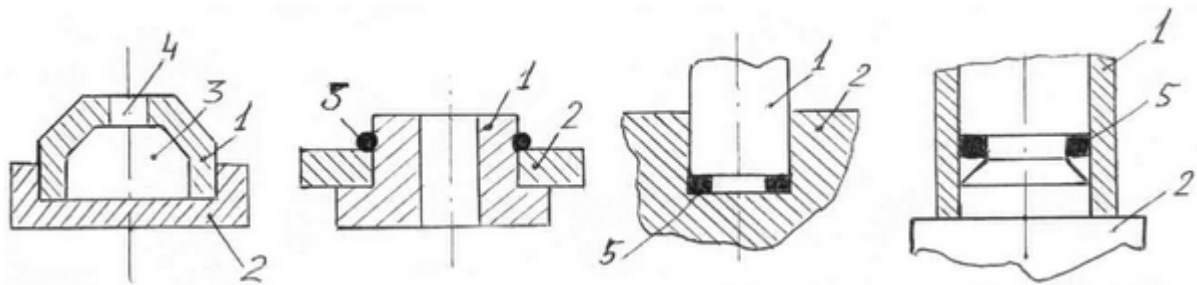


Рис. 117. Типовые схемы соединений при пайке:

1 и 2 – соединяемые детали; 3 – канавка для пасты; 4 – отверстие для подачи пасты; 5 – кольцевой припой

Припой в виде колец и шайб удобен для автоматизации сборки круглых (кольцевых) швов. В конструкциях деталей предусматривают фаски и другие элементы, благоприятствующие формированию шва.

Проникновение припоя к месту соединения достигается:

- 1) правильно выбранными зазорами:
 - а) при $t_n = 240 \dots 260 \text{ } ^\circ\text{C}$ $S = 0,05 \dots 0,2 \text{ мм}$;
 - б) при $t_n = 560 \dots 780 \text{ } ^\circ\text{C}$ $S = 0,03 \dots 0,05 \text{ мм}$;
- 2) доступностью мест пайки;
- 3) устранением воздушных мешков в зоне пайки;
- 4) расчетом тепловых деформаций деталей.

Наиболее эффективен **индукционный метод нагрева**. Для его применения необходимо выдерживать следующие требования к конструкции деталей:

- а) зазор между изделием и индуктором не менее 2...20 мм;
- б) местный перегрев при пайке недопустим;

в) предпочтительнее горизонтальное перемещение изделий при пайке при неподвижном индукторе.

Для **местного нагрева** используется пламя горючих газов. Метод эффективен для изделий сложной конфигурации – на карусельных столах и АЛ.

Для автоматической сборки пайкой изделий сложной конфигурации удобен **нагрев в печи**. Время и температура нагрева регулируются изменением скорости движения изделия в печи. Нагрев равномерный.

Легко автоматизируется процесс пайки, если изделие нагревают в **соляных ваннах**. Метод высокопроизводителен, выполняется на движущемся подвесном конвейере. Применяется для небольших деталей, равномерно и быстро нагреваемых.

В настоящее время созданы полуавтоматы, автоматы и АЛ для газовой и электрической пайки.

Паяные соединения контролируют визуально, проверкой на прочность, герметичность, а также методами дефекто- и рентгеноскопии.

5.2.8. Сборка методом пластического деформирования

Этот метод сборки удобен для автоматизации. Основан на деформации 1-2 соединяемых деталей, выполненных из листа, трубы, полосы, проволоки, т.е. деталей тонкостенных.

Выделяют схемы:

- 1) **вальцевание роликовой вальцовкой** – герметичное соединение трубы с деталью;
- 2) **отбортовка роликовой вальцовкой** (или на прессе обжимкой) – для прочного соединения втулки с листовой деталью;
- 3) **завальцовка роликовой вальцовкой**;
- 4) **дорнование втулки шариком** или оправкой для повышения плотности;
- 5) **отгибка** для плотного скрепления деталей;
- 6) **скручивание выступающих элементов** (то же, что и п. 5).

Некоторые схемы приведены на рис. 118.

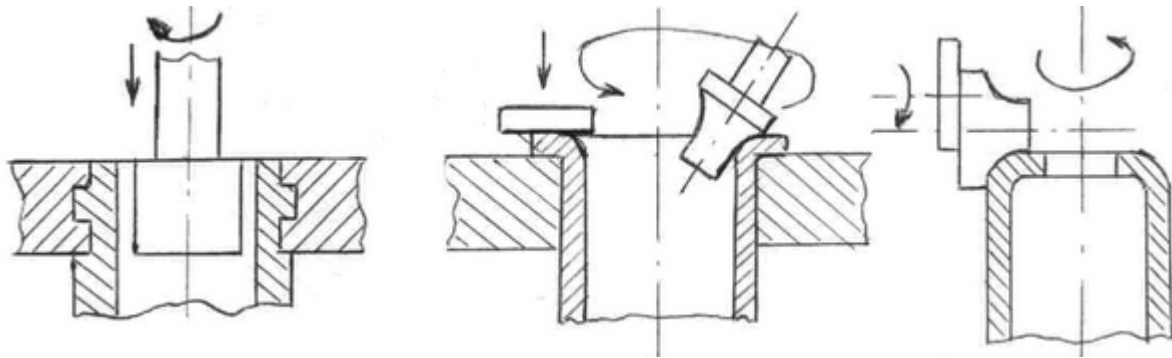


Рис. 118. Схемы пластического деформирования

5.2.9. Окраска изделий

Этапы подготовки к окраске:

1. Очистка, обезжиривание.
2. Промывка, сушка.
3. Грунтовка.
4. Зачистка, полирование.

После окраски – сушка и визуальный контроль.

Методы окраски:

1. **Погружением** – малогабаритные изделия в мелкосерийном производстве. Недостаток: большой расход краски.
2. **Пульверизацией** – обычной или в электростатическом поле. Достоинство: окраска деталей любой формы. Недостаток: большой расход краски.
3. **Валиком** – большой расход краски.
4. **Кистями** – низкое качество и производительность.

5.3. Методика проектирования автоматизированных ТПС

Рассмотрим особенности проектирования автоматизированных ТПС:

1. До проектирования ТП выполняют ТЭО целесообразности автоматизации и выявляют перспективный объем выпуска изделий. Намечают уровень автоматизации сборки.

2. ТПС разрабатывают более тщательно (до операционной технологии). Дополнительно на схемах сборки показывают и вспомогательные операции, учитывающие специфику автоматизации сборки (контроль, поворот или перевертывание объекта, обдувку, подачу смазки, охлаждение после пайки ...). Также на схемах сборки выделяют участки ручной и механизированной сборки, на которых автоматизация затруднена. Сложные изделия требуют расчленения на простые узлы с последующим построением их схем сборки.

3. По ОФС выделяют стационарную и конвейерную автоматическую сборку:

- **стационарная** – на специальном оборудовании или с помощью ПР (в любом виде производства);

- **конвейерная** – с периодическим перемещением на АЛ.

4. После выбора ОФС разрабатывают маршрутный ТПС, включающий все основные и вспомогательные СО. Главный принцип при его разработке – **концентрация СО**, сокращающая цикл сборки и производственные площади.

Особо выделяют вопросы **базирования**:

а) базовой детали при установке ее в приспособлении;

б) сопрягаемых деталей при узловой (общей) сборке.

В обоих случаях важно соблюдать для автоматической сборки принципы постоянства (особенно) и совмещения баз.

5. Разработка операционной технологии (трудоемкий процесс):

а) уточнение содержания операций;

б) повышение концентрации технологических переходов;

в) более тщательные технологические расчеты (определение сил запрессовки, клепки, затяжки резьбы, $t_{шт}$).

6. Разработка компоновочной схемы сборочного оборудования (автомата):

а) структурной схемы;

б) кинематики и динамики;

- в) расчет производственной площади;
- г) системы управления;
- д) необходимых переналадок;
- е) степени автоматизации сборочного цикла.

При этом необходима максимальная ориентация на унифицированные и нормализованные исполнительные органы (принцип агрегатирования).

7. Выбор сборочного оборудования. Сначала определяют компоновочную структуру СО:

- а) одно- или многопозиционное оборудование;
- б) способ базирования и закрепления деталей;
- в) способ межпозиционного транспортирования;
- г) направления и способ подачи комплектующих;
- д) габаритные размеры рабочей зоны.

Исходя из этого технолог выбирает стандартное оборудование или оформляет заявку на проектирование, являющуюся основанием на разработку ТЗ.

Типовая часть заявки содержит:

- **базовую информацию:** годовую программу, сборочные чертежи, длительность ТПС, сроки изготовления всех изделий;
- **технологическую:** схему установки базовой детали, СС, скорость подачи комплектующих, схему транспортирования (линейную, круговую), уровень концентрации переходов, подробную операционную технологию.

Дополнительная часть заявки содержит:

- требования по производительности (направлены на минимизацию цикловых потерь, увеличение времени безотказной работы);
- контроль: виды и параметры (на наличие детали, точность, качество);
- требования по съему собранных изделий.

5.4. Классификация и общая характеристика сборочного оборудования

5.4.1. Классификация сборочных станков

Основные признаки, определяющие выбор оборудования:

- а) длительность цикла сборки изделия;
- б) предполагаемый период выпуска изделий и годовая программа;
- в) размеры, масса и геометрические параметры изделий;
- г) производительность оборудования;
- д) состав и последовательность сборочных переходов;
- е) возможность автоматизации загрузки-выгрузки;
- ж) точность сопряжения и уровень ориентации сопрягаемых деталей.

Классификация сборочных станков показана рис. 119.



Рис. 119. Классификация сборочных станков

В **однопозиционных** – базовая деталь не перемещается относительно исполнительных сборочных механизмов, все основные действия на сборке происходят на одной позиции.

Многопозиционные – имеют транспортные устройства для межоперационного транспортирования объекта сборки:

а) дискретного действия – все СО выполняются во время остановки транспортного средства;

б) непрерывного действия – все СО выполняются во время движения.

На станках **линейной** компоновки СО выполняются при перемещении объекта по прямой линии.

На станках с поворотным столом:

а) **карусельного типа** – вращение вокруг вертикальной оси;

б) **барabanного типа** – вокруг горизонтальной оси.

Типа сборочных центров – широкоуниверсального назначения, характеризуются концентрацией СО. На рис. 120 показан сборочный центр с ПР, производящий сборку генераторов переменного тока, состоящий из 17-ти деталей.

Центр имеет две позиции: для сборки узлов и для общей сборки генераторов. Статор, комплекты щеток и диодов, а также задняя крышка собираются предварительно и поступают на общую сборку как узлы. Вся узловая сборка выполняется ПР вдоль вертикальной оси. Сначала передняя и задняя крышки генератора устанавливаются в двух зажимных приспособлениях, затем в переднюю крышку монтируется шарикоподшипник. Затем в заднюю крышку запрессовывается ротор, а передняя крышка переворачивается и надевается на ось ротора, после чего ПР устанавливает на ротор прокладку, крыльчатку вентилятора, шкивы, пружинную шайбу и гайку, завинчиваемую гайковертом.

Управление ПР осуществляется ЭВМ, что обеспечивает не только движение робота по нужной траектории, но и управление скоростью движения. ПР оснащен сенсорными устройствами тактильного и силового очувствления, позволяющими при жестких допусках сопрягать детали плавно и быстро.

При сборке генератора используется шесть инструментов, которые приходится заменять 8 раз за цикл. На каждый переход в сборке и на смену инструмента затрачивается в среднем по 6 с.

На этом же центре после переналадки можно собирать электродвигатели, насосы, редукторы определенных конструкций и пр.

ПР могут использоваться в составе АЛ. Современные технологические центры оснащаются микропроцессорным управлением и устройствами адаптации, среди которых сенсорные системы, особенно визуальные, обеспечивающие "техническое зрение", являются наиболее перспективными.

В многоярусных – на одном рабочем роторе может выполняться не одна, а несколько СО.

Роторные – имеют рабочие роторы с инструментальными блоками и транспортные роторы, которые принимают детали из загрузочных устройств и передают их в рабочие роторы или от одного рабочего ротора другому.

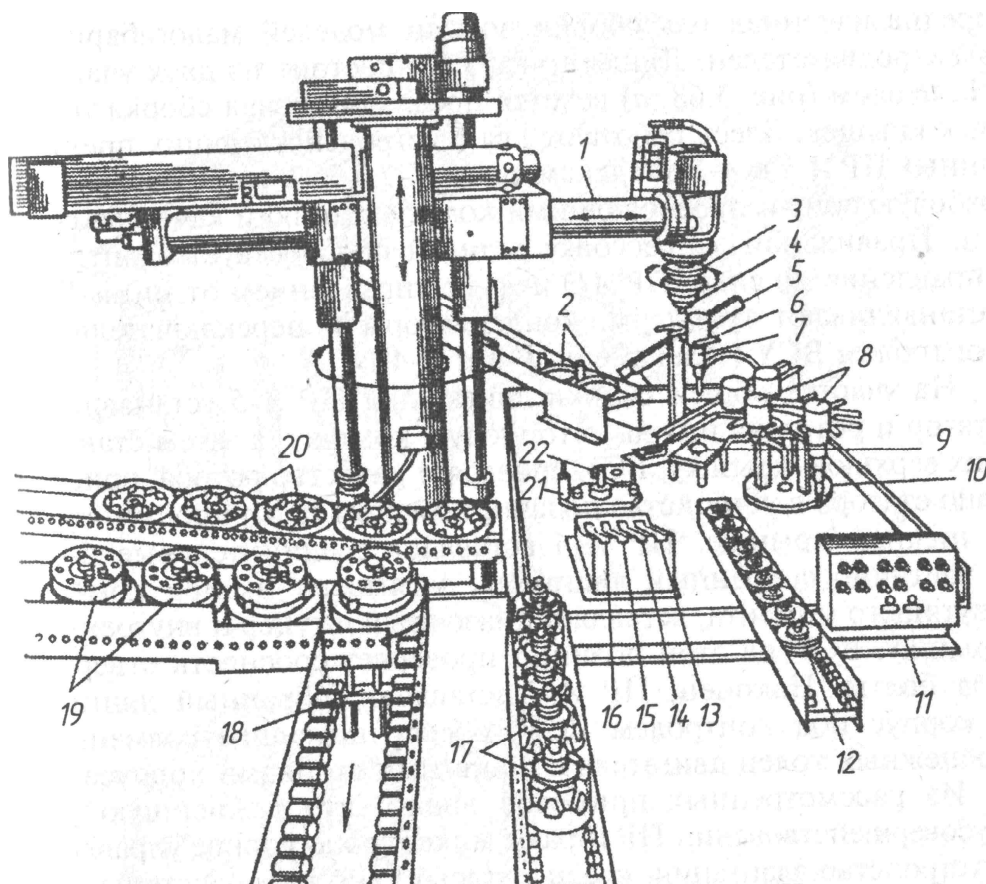


Рис. 120. Вариант компоновки сборочного центра с ПР, управляемого ЭВМ:

1 – манипулятор робота; 2 – передняя крышка; 3 – упругое захватное устройство; 4 – инструмент; 5 – лоток с винтами;

6 – штатив для хранения инструмента; 7 – отвертка;
 8 – сменные инструменты; 9 – фиксаторы; 10 – поворотный инструмент; 11 – обучающий и управляющий блок;
 12 – шкивы; 13 – прокладки для подшипников;
 14 – стопорные шайбы; 15 – гайки; 16 – прокладки под крыльчатки вентиляторов; 17 – роторы; 18 – позиция выдачи готовых изделий; 19 – задние крышки; 20 – крыльчатки вентиляторов; 21 – зажимное приспособление для общей сборки; 22 – зажимное приспособление для сборки комплектов

Цепные – отличаются от роторных тем, что их рабочие органы монтируются на цепях и перемещаются не по круговой, а по овальной, зигзагообразной или спиральной траекториям.

5.4.2. Характеристика типов сборочных линий (СЛ)

Классификация сборочных линий показана на рис. 121.

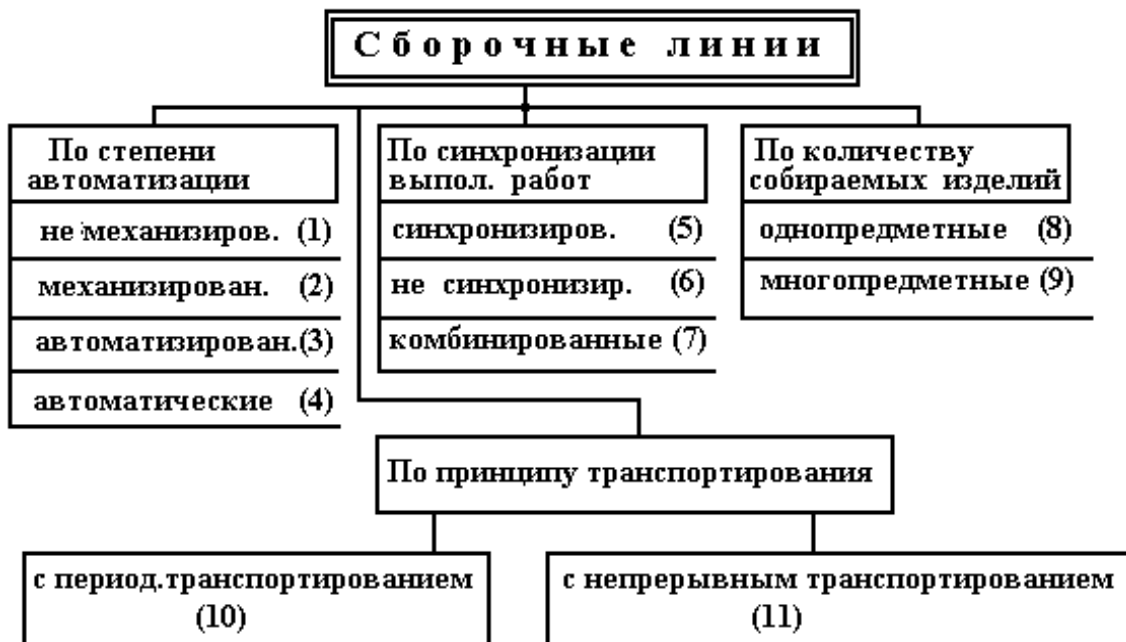


Рис. 121. Классификация сборочных линий

1. Немеханизированные поточные линии сборки. На таких линиях часть сборочных операций выполняется без применения механизированного инструмента, механизмов и оборудо-

вания, при этом собираемое изделие перемещается от одного рабочего места к другому вручную (без конвейера).

2. Механизированные поточные линии сборки. Большая часть сборочных операций выполняется с применением механизированного инструмента, механизмов и оборудования. Собираемые изделия перемещаются конвейером с ручным съемом собранных изделий.

3. Автоматизированные поточные линии. Сборочные операции выполняются с применением полуавтоматического и автоматического оборудования, а также с применением механизированного инструмента, механизмов и оборудования. Для транспортировки используется конвейер с автоматической адресацией и механическим съемом изделия.

4. Автоматические линии сборки. Представляют собой комплекс основного, вспомогательного и подъемно-транспортного оборудования, осуществляющего сборку изделия без непосредственного участия человека. Сборка выполняется в технологической последовательности и с определенным ритмом.

5. Синхронные поточные сборочные линии. Собираемые объекты передаются от одной позиции к другой одновременно или через кратные промежутки времени. Рабочие позиции жестко связаны транспортной системой, и выход из строя любого оборудования на одной позиции приводит к остановке всей линии.

6. Несинхронные поточные сборочные линии. Используемые транспортные каретки (приспособления-спутники) не связаны жестко с тяговым органом и могут накапливаться между рабочими позициями или в специальных накопителях. Ритмичность работы обеспечивается с помощью межоперационных заделов.

7. Комбинированные поточные линии сборки. Представляют собой сочетание синхронных и несинхронных участков, что в некоторых случаях приводит к улучшению условий и производительности труда сборщиков.

8. Однопредметные СЛ. Происходит сборка изделий одного наименования. Применяются в массовом производстве.

9. **Многопредметные СЛ.** На них осуществляется сборка изделий разного наименования, но сходных по технологическим признакам. Характерно для серийного производства. Чередование изделий на СЛ может быть последовательным, параллельным и параллельно-последовательным.

10. **АЛ с периодическим транспортированием.** Широко применяются в автомобильной, тракторной, подшипниковой и других отраслях. Такт сборки может составлять 1 с и менее при выпуске до 6 млн. шт. в год.

11. **АЛ с непрерывным транспортированием.** Выполняются на базе сборочных автоматов роторного типа. При этом несколько сборочных роторов объединены в поточную линию с помощью транспортных роторов. Высокая производительность и качество сборки. Применяются для сборки небольших объектов: втулочно-роликовые цепи, конденсаторы, резисторы, разъемы и др.

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Асфаль Р. Роботы и автоматизация производства / пер. с англ. – М. : Машиностроение, 1989.

2. Гжиров Р. И. Программирование обработки на станках с ЧПУ : справочник / Р. И. Гжиров, П. П. Серебrenицкий. – Л. : Машиностроение, 1990.

3. Григорьев С. Н. Инструментальная оснастка станков с ЧПУ : справочник. Библиотека инструментальщика / С. Н. Григорьев, М. В. Кохомский, А. Р. Маслов. – М. : Машиностроение, 2006.

4. Гузеев В. И. Режимы резания для токарных и сверлильно-фрезерно-расточных станков с ЧПУ : справочник / В. И. Гузеев, В. А. Батуев, И. В. Сурков. – М. : Машиностроение, 2005.

5. Дерябин А. Л. Технология изготовления деталей на станках с ЧПУ и в ГПС : учеб. пособие для машиностроит. техникумов / А. Л. Дерябин, М. А. Эстерзон. – М. : Машиностроение, 1989.

6. Дулько О. Л. В помощь оператору ГПС : справочн. кн. / О. Л. Дулько. – Л. : Лениздат, 1990.

7. Замятин В. К. Технология и автоматизация сборки / В. К. Замятин. – М. : Машиностроение, 1993.
8. Замятин В. К. Технология и оснащение сборочного производства машиноприборостроения : справочник / В. К. Замятин. – М. : Машиностроение, 1995.
9. Иванов Ю. В. Гибкая автоматизация производства РЭА с применением микропроцессоров и роботов : учеб. пособие для вузов / Ю. В. Иванов, Н. А. Лакота. – М. : Радио и связь, 1987.
10. Колесов И. М. Основы технологии и машиностроения : учеб. для вузов / И. М. Колесов. – М. : Высш. шк., 1999.
11. Лебедевский М. С. Научные основы автоматической сборки / М. С. Лебедевский, В. Л. Вейц, А. И. Федотов. – Л. : Машиностроение, 1985.
12. Митрофанов С. П. Групповая технология машиностроительного производства : в 2 т / С. П. Митрофанов. – Л. : Машиностроение, 1983.
13. Обработка металлов резанием : справ. технолога / под общ. ред. А. А. Панова. – М. : Машиностроение, 2004.
14. Переналаживаемая технологическая оснастка / под общ. ред. Д. И. Полякова. – М. : Машиностроение, 1988.
15. Косовский В. Л. Программное управление станками и ПР : учеб. для ПТУ / В. Л. Косовский, Ю. Г. Козырев, А. Н. Ковшов. – М. : Высш. шк., 1989.
16. Проектирование технологии автоматизированного машиностроения : учеб. для вузов / под ред. Ю. М. Соломенцева. – М. : Высш. шк., 1999.
17. Проектирование технологических процессов сборки машин : учебник / под общ. ред. А. А. Жолобова. – Минск : Новое знание, 2005.
18. Робототехника и ГАП : в 9 кн. : учеб. пособие для вузов / под ред. И. М. Макарова. – М. : Высш. шк., 1986.
19. Сборка и монтаж изделий машиностроения : справочник. В 2 т. / под ред. В. С. Корсакова. – М. : Машиностроение, 1983.
20. Справочник технолога-машиностроителя. В 2 т. Т. 1 / под ред. А. М. Дальского [и др.]. – М. : Машиностроение, 2003.

08		1											
09		1			2								
10		1							2				
11		1								2	3		
12		1						2			3		
13		1				2		3					
14				1	2			3					
15			1			2		3					
16	1	2			3				3				
17	1	2											
18	1	2									3		
19	1	2										3	
20		1		2					3				
21		1			2						3		
22		1						2		3	4	4	
23		1				2	3						
24		1				2		3		4			
25				1		2		3		4			
26			1			2		3		4			

Продолжение табл. П1

Номер схемы	Переход												
	Центрование	Сверление	Фрезерование	Растачивание	Зенкерование	Растачивание	Обработка фаски	Растачивание	Зенкование	Растачивание	Развертывание		Нарезание резьбы
											черновое	чистовое	
27		1				2		3				4	
28	1	2									3	4	
29	1	2			3							4	
30	1	2						3				4	
31		1				2		3			4	5	
32	1	2						3			4	5	

Примечание: 1–5 – порядковые номера переходов.

Таблица П2

Номер технологической схемы (см. табл. П1)
для обработки основных отверстий

Ква- литет	Диаметр отвер- стия, мм	Допуск на межосевое расстояние, мм						
		До 0,05	0,05–0,3			Свыше 0,3		
		Параметр шероховатости поверхности, мкм						
		$Ra=1,25$ $Ra=2,5$	$Rz=20$	$Ra=2,5$	$Ra=1,25$	$Rz=20$	$Ra=2,5$ $Ra=1,25$	
9, 10	До 6		18	18		18	18	
	6–10		18	18		08	08	
	10–15		29	30		21	12	
	15–30	01* ¹	30	30		13	12	
	30–50	01* ¹	13	24, 27		13	24, 27	
	Св. 50	01* ¹	13	24		13	13	
		02* ^{1*2}	14* ²	25* ²		14* ²	25* ²	
		03* ^{1*3}	15* ³	26* ³		15* ³	26* ³	
7, 8	До 6			28			28	
	6–10			28			11	
	10–15			32	32		22	22
	15–30	01* ¹		32	32		22	22
	30–50	04* ¹		24	31		24, 31	31
	Св. 50	04* ¹		24			24	
		05* ^{1*2}		25* ^{1*2}			25* ²	
		06* ^{1*3}		26* ³			26* ³	
6	15–30	01* ¹			01* ¹			01* ¹
	30–50	04* ¹			04* ¹			04* ¹
	Св. 50	04* ¹			04* ¹			04* ¹
		05* ^{1*2}			05* ^{1*2}			05* ^{1*2}
		06* ^{1*3}			06* ^{1*3}			06* ^{1*3}

*¹ Дальнейшая обработка выполняется на станках других типов.

*² Отверстие выполнено в отливке или предварительно обработано.

*³ Отверстие выполнено в отливке или предварительно обработано и расположено во внешней стенке.

Номер технологической схемы (см. табл. П1)
для обработки основных отверстий

Квали- тет	Диаметр отвер- стия, мм	Допуск на межосевое расстояние, мм					
		0,05–0,3			Свыше 0,3		
		Параметр шероховатости поверхности, мкм					
		<i>Rz</i> =80	<i>Rz</i> =40	<i>Rz</i> =20	<i>Rz</i> =80	<i>Rz</i> =40	<i>Rz</i> =20
13 и выше	До 6	07	07			01	
	6–10	07	07			01	
	10–15	07	04			04	
	15–30	07	04			04	
	30–50	04	04		01	04	
					04* ¹		
	Св. 50	04	04		04	04	
		05* ²	05* ²		02* ²	02* ²	
	06* ³	06* ³		03* ³	03* ³		
11	До 6		07			07	
	6–10		07			01	
	10–15		16	16		09	09
	15–30		04	04		04	04
	30–50		04	13		04	13
	Св. 50		04	13		04	04
			05* ²	14* ²		05* ²	05* ²
			06* ³	15* ³		06* ³	06* ³
<p>*¹ Применяется, когда диаметр сверла и отверстия не совпадает и требуется дополнительный переход обработки отверстия. *² Отверстие выполнено в отливке или предварительно обработано. *³ Отверстие выполнено в отливке или предварительно обработано и расположено во внешней стенке.</p>							

Номер технологической схемы (см. табл. П1)
для обработки вспомогательных отверстий

Отверстие	Диаметр отверстия, мм	Допуск на межосевое расстояние, мм	
		0,05–0,3	Свыше 0,3
С цилиндрической резьбой	До М16	19	19
	М16–М27	19, 23	19, 23*
	Св. М27	23	23
С конической резьбой	До К $\frac{3}{4}$ "	19, 23*	19, 23*
	Св. К $\frac{3}{4}$ "	23	23
С цилиндрической зенков- кой под винт, болт	До 6	17	17
	6–15	17	10
	15–25	17, 20*	10, 20*
С конической зенковкой под винт, болт: - угол конуса $\alpha=90^\circ$	До 6	07	07
	6–15	07	10
- угол конуса $\alpha \neq 90^\circ$	До 6	17	17
	6–15	17	10

* Эти номера применяют, когда диаметры сверла и отверстия не совпадают и требуется дополнительный переход, например растачивание.

В выбранную технологическую схему обработки отверстий дополнительно следует перед получистовым или чистовым растачиванием или развертыванием ввести переход "обработка фаски", если фаска предусмотрена чертежом и в технологической схеме отсутствует переход "центрирование". Если отверстие неточное (11–13-го квалитетов), фаску обрабатывают после сверления или зенкерования. В тех случаях, когда отверстие имеет внутренний торец и (или) канавку (как правило, отверстия 7-го, 8-го квалитетов диаметром более 30 мм), в технологическую схему вводят переходы "обработка торца" и "обработка канавки", которые выполняют до получистового или чистового растачивания или развертывания.

Фрезерование отверстий вместо их предварительного растачивания двухрезцовым блоком производительнее при длине отверстия, не превышающей длину режущей части фрезы. Чем больше припуск на обработку отверстия и чем неравномернее его расположение по длине окружности, тем эффективнее фрезерование по сравнению с растачиванием. Использование одной концевой фрезы вместо нескольких расточных инструментов позволяет уменьшить набор инструментов, необходимый для выполнения операции, сократить число смен инструмента и суммарное время, затрачиваемое на перерывы в резании, связанные со сменой инструмента.

Таблица П5

Маршрутные технологические схемы обработки плоскостей

Номер схемы	Переход								
	Черновой		Чистовой						
	Обработка фрезой								
	концевой	торцовой	концевой	концевой	прорезной	шпоночной	трехсторонней	торцовой	торцовой
51		1							
52				(1)					
53	(1)				1				
54							1		
55	(1)		(1)	2					
56	1	2							
57		(1)						(1)	2
58		(1)			(1)	2			
59	1	2						3	
60		1						2	3
61	1		2	2					
62	1	2	3	3				4	

Примечание. 1–4 – порядковые номера переходов; переходы, указанные в скобках, взаимозаменяемы и решают одни и те же задачи.

Таблица П6

Выбор технологических схем обработки (см. табл. П5) плоскостей
в зависимости от допускаемых отклонений формы
и расположения

Допускаемые отклонения	Параметр шероховатости поверхности, мкм			
	$Rz=40$ $Rz=80$	$Rz=20$	$Ra=2,5$	$Ra=1,25$
До 0,1			57*	57*
0,1–0,2		60	60	57*
0,2–0,4	57	57	60	57*
Свыше 0,4	51	57	60	57*

* Далее обработка на станках других типов.

Таблица П7

Выбор технологических схем обработки (см. табл. П5) пазов в зависимости от допускаемых отклонений формы и расположения

Ширина паза B , мм	Допуск на ширину паза, мм, при параметре шероховатости, мкм					
	Свыше 0,2		0,1–0,2			До 0,1
	$Rz=40$	$Rz=20$	$Rz=40$	$Rz=20$	$Ra=2,5$	$Ra=2,5$
До 30	52	55	52	55	52* ²	52* ²
	53	58	53	58	53* ²	53* ²
	54					
30–50	55	61	55	61	55* ²	55* ²
Свыше 50						
при $B < 3d$	52	61	55	61	55* ²	55* ²
при $B / 3d$	56* ¹	62* ¹	59* ¹	62* ¹	62* ^{1*2}	62* ^{1*2}

*¹ Припуск на обработку дна паза не более 6–8 мм, $B > d$, где d – диаметр концевой фрезы.

*² Далее обработка на станках других типов.

На станках, оснащенных программно-управляемым планшуппортом, одной расточной оправкой можно обработать в отверстиях канавки, занижения различных размеров (в пределах длины хода ползуна планшуппорта). При отсутствии планшуппорта на станках с контурной системой управления наиболее производительным методом обработки канавок является фрезерование.

Технологические схемы обработки основных отверстий, содержащие переходы фрезерования (03, 06, 15, 26, см. табл. П1), обработки торца и (или) канавок, следует применять на станках с контурной системой ПУ или на станках, оснащенных программно-управляемыми планшуппортными головками.

Переходы обработки отверстия, предусмотренные технологической схемой, могут быть выполнены в одной или в нескольких операциях. Решение о таком разделении принимают при разработке маршрутного технологического процесса.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ	3
1. МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ ТП	4
1.1. Цели и проблемы автоматизации. Показатели автоматизации.....	4
1.1.1. Цели автоматизации	4
1.1.2. Проблемы при автоматизации.....	4
1.1.3. Показатели механизации и автоматизации	5
1.2. Характеристика основных направлений АПП для различных типов машиностроительных производств	7
1.2.1. Автоматизация крупносерийного и массового типов производств.....	7
1.2.2. Автоматизация единичного производства.....	8
1.2.3. Автоматизация мелкосерийного и серийного типов производств	8
1.3. Унификация объектов производства.....	10
1.3.1. Типизация технологических процессов.....	11
1.3.2. Метод групповой обработки	12
1.4. Станки, используемые в ГПС	19
1.4.1. Тенденции развития автоматизированных металлорежущих станков	19
1.4.2. Станки с ЧПУ и обрабатывающие центры токарной группы	24
1.4.3. Станки с ЧПУ и обрабатывающие центры сверлильно-фрезерно-расточной группы 33	33
1.4.4. Конструкции многоцелевых станков типа гексапод.....	35
1.4.5. Шлифовальные станки с ЧПУ	37
2. РАЗРАБОТКА ТЕХПРОЦЕССОВ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ.....	40
2.1. Анализ существующих направлений проектирования ТП.....	40
2.1.1. Метод заимствования	40
2.1.2. Метод синтеза	43
2.2. Классификация УЧПУ.....	44
2.3. Особенности и этапы ТПП для станков с ЧПУ.....	47
2.3.1. Особенности.....	47
2.3.2. Основные этапы ТПП.....	48
2.3.3. Определение номенклатуры деталей для станков с ЧПУ	49
2.3.4. Разработка маршрутного ТП.....	53
2.3.5. Разработка операционного ТП.....	54
2.3.6. Проектирование переходов.....	61
2.3.7. Расчетно-технологическая карта (РТК).....	64
2.3.8. Расчет траектории инструмента.....	65
2.4. Выбор режимов резания для станков с ЧПУ.....	67
2.5. Нормирование операций, выполняемых на станках с ЧПУ	70

2.6.	Наладка станков с ЧПУ	72
2.6.1.	Системы координат, существующие на станке при обработке	72
2.6.2.	Размерные связи между системами координат	77
3.	ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА ТИПОВЫХ ДЕТАЛЕЙ.....	79
3.1.	Отнесение детали к типовой группировке.....	79
3.2.	Технология изготовления валов.....	82
3.2.1.	Характеристика валов.....	82
3.2.2.	Материалы и способы получения заготовок валов	86
3.2.3.	Технологический процесс обработки валов	88
3.3.	Технология изготовления втулок и дисков.....	115
3.3.1.	Характеристика втулок и дисков	115
3.3.2.	Материалы и заготовки для втулок и дисков	116
3.3.3.	Технологический процесс обработки втулок.....	116
3.3.4.	Технологический процесс обработки дисков	122
3.3.5.	Рекомендации по обработке типовых элементов	124
3.4.	Технология изготовления зубчатых колес	126
3.4.1.	Характеристика зубчатых колес	126
3.4.2.	Материалы и заготовки	130
3.4.3.	Технологический процесс обработки зубчатых колес.....	132
3.4.4.	Обработка зубчатых поверхностей.....	138
3.4.5.	Особенности обработки конических и червячных колес.....	145
3.4.6.	Технология изготовления рычагов	148
3.4.7.	Технологический процесс изготовления рычагов	151
3.5.	Технология изготовления корпусов	156
3.5.1.	Характеристика корпусных деталей.....	156
3.5.2.	Материалы и заготовки для корпусных деталей	158
3.5.3.	Технологический процесс обработки корпусов.....	158
4.	РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА СБОРКИ	
МАШИН	168	
4.1.	Понятия и определение основных элементов ТПС.....	169
4.1.1.	Классификация видов сборки.....	171
4.1.2.	Поточная линия сборки (ПЛС)	175
4.1.3.	Технологичность конструкции изделия (ТКИ) применительно к сборке	177
4.2.	Общая методика проектирования ТПС	180
4.2.1.	Анализ исходных данных для разработки ТПС.....	181
4.2.2.	Уточнение метода достижения точности при сборке	183
4.2.3.	Разработка схемы расчленения изделия.....	185
4.2.4.	Разработка схемы сборки изделия.....	186
4.2.5.	Выбор методов сборки.....	187
4.2.6.	Разработка технологического маршрута сборки	187
4.2.7.	Выбор технологических баз.....	189
4.2.8.	Разработка операционной технологии.....	189
4.2.9.	Оформление комплекта технологической документации	190
4.3.	Нормирование сборочных работ.....	190

5.	АВТОМАТИЗАЦИЯ СБОРОЧНЫХ ОПЕРАЦИЙ	191
5.1.	Характеристика основных этапов СО	191
5.1.1.	Применяемые технические средства автоматизации	195
5.1.2.	Технологичность деталей для автоматической сборки	196
5.2.	Характеристика основных этапов и методов сборки	202
5.2.1.	Автоматическая ориентация деталей	202
5.2.2.	Сборка сопряжений по цилиндрическим поверхностям с гарантированным зазором 207	
5.2.3.	Сборка сопряжений по цилиндрическим поверхностям с гарантированным натягом 209	
5.2.4.	Сборка резьбовых соединений	211
5.2.5.	Сборка заклепками	213
5.2.6.	Сборка склеиванием	214
5.2.7.	Сборка пайкой	215
5.2.8.	Сборка методом пластического деформирования	217
5.2.9.	Окраска изделий	218
5.3.	Методика проектирования автоматизированных ТПС	218
5.4.	Классификация и общая характеристика сборочного оборудования	220
5.4.1.	Классификация сборочных станков	221
5.4.2.	Характеристика типов сборочных линий (СЛ)	224
	СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ	226
	ПРИЛОЖЕНИЕ	228

Трусов Александр Николаевич

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ**

Учебное пособие

Редактор О. А. Вейс

Подписано в печать 23.06.2008. Формат 60×84/16.

Бумага белая писчая. Отпечатано на ризографе. Уч.-изд. л. 14,0.

Тираж 300 экз. Заказ

ГУ КузГТУ. 650026, Кемерово, ул. Весенняя, 28.

Типография ГУ КузГТУ. 650099, Кемерово, ул. Д. Бедного, 4А.