

А.Г. ТКАЧЁВ, И.Н. ШУБИН  
ТЕХНОЛОГИЯ МАШИНОСТРОЕНИЯ

А.Г. ТКАЧЁВ, И.Н. ШУБИН

# ТЕХНОЛОГИЯ МАШИНОСТРОЕНИЯ

• ИЗДАТЕЛЬСТВО ТГТУ •

УДК 621  
ББК К5я73  
Т484

Р е ц е н з е н т ы:

Кандидат технических наук,  
главный инженер ОАО "Тамбовский завод «Комсомолец»  
имени Н.С. Артемова"  
*В.А. Богуш*

Доктор технических наук, профессор,  
заведующий кафедрой "Машины и аппараты химических производств"  
*М.А. Промтов*

**Ткачѐв, А.Г.**

Т484    Технология машиностроения : курс лекций / А.Г.  
Ткачѐв, И.Н. Шубин. – Тамбов : Изд-во Тамб. гос.  
техн. ун-та, 2009. – 164 с. – 100 экз. – ISBN 978-5-  
8265-0857-2.

Содержит разделы, посвящённые разработке технологических процессов изготовления деталей – валов, втулок, корпусных деталей, зубчатых колѐс и рычагов. За основу приняты типовые технологические процессы, прошедшие апробацию в промышленности и базирующиеся на результатах научных исследований и прогрессивном опыте машиностроительных заводов.

Предназначен для студентов технических вузов специальностей 170514, 170505 и 551800 дневной, заочной и дистанционной форм обучения.

**ISBN 978-5-8265-0857-2**

УДК 621  
ББК К5я73  
© ГОУ ВПО "Тамбовский государственный  
технический университет" (ТГТУ), 2009

Министерство образования и науки Российской Федерации  
ГОУ ВПО "Тамбовский государственный технический университет"

А.Г. Ткачёв, И.Н. Шубин

# ТЕХНОЛОГИЯ МАШИНОСТРОЕНИЯ

Рекомендовано Учёным советом университета  
в качестве учебного пособия



---

Тамбов  
Издательство ТГТУ  
2009

Учебное издание

ТКАЧЁВ Алексей Григорьевич  
ШУБИН Игорь Николаевич

# **ТЕХНОЛОГИЯ МАШИНОСТРОЕНИЯ**

Курс лекций

Редактор Е.С. Мордасова

Инженер по компьютерному макетированию М.Н. Рыжкова

Подписано в печать 20.11.2009.

Формат 60 × 84 / 16. 9,76 усл. печ. л. Тираж 100 экз. Заказ № 529

Издательско-полиграфический центр  
Тамбовского государственного технического университета  
392000, Тамбов, Советская, 106, к. 14

## ВВЕДЕНИЕ

---

Курс "Технология машиностроения" является завершающей частью комплекса инженерно-технологических дисциплин подготовки бакалавров и специалистов и базируется на ранее изученных предметах – "Инженерная графика", "Материаловедение", "Основы проектирования и конструирования", "Детали машин", "Машины и оборудование".

Технология машиностроения рассматривает методы разработки и построения рациональных технологических процессов, выбор способа получения заготовки, технологического оборудования, инструмента и приспособлений, назначение режимов резания и установление технически обоснованных норм времени. Основное содержание представленной работы составляют разделы, посвящённые разработке технологических процессов изготовления типовых деталей, которые изложены по единому плану в соответствии со стандартами разработки и постановки изделий на производство. За основу приняты типовые технологические процессы, прошедшие апробацию в промышленности и базирующиеся на результатах научных исследований и прогрессивном опыте машиностроительных заводов.

## 1. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ КАЧЕСТВА ИЗДЕЛИЙ В МАШИНОСТРОЕНИИ

---

### 1.1. ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ДАЛЬНЕЙШЕГО РАЗВИТИЯ ТЕХНОЛОГИИ МАШИНОСТРОЕНИЯ

Совершенствование современного машиностроительного производства тесно связано с развитием технологии как науки. Велика роль технологии в интенсификации производства, повышении его рентабельности, улучшении качества выпускаемой продукции. Развитие и внедрение прогрессивных технологий характеризуется быстрой окупаемостью. Можно выделить следующие направления развития технологии на современном этапе:

1. Разработка научных основ технологии машиностроения (ТМ).
2. Разработка теории и методик построения высокопроизводительных операций и процессов обработки и сборки.
3. Разработка и внедрение методов малоотходной, малоэнергоёмкой и упрочняющей технологии.
4. Технологическое обеспечение надежности изделий.
5. Повышение уровня технологичности конструкции изделия.
6. Автоматизация и механизация механо-сборочного производства (использование промышленных роботов, роторных и конвейерных линий, станков с ЧПУ и т.д.).
7. Разработка методов типизации ТП, групповой обработки и сборки.
8. Совершенствование технологической оснастки, автоматизация сборки.
9. Применение методов автоматизированного проектирования технологических процессов обработки и сборки.
10. Разработка САПР ТМ.

### 1.2. КАЧЕСТВО ИЗДЕЛИЙ В МАШИНОСТРОЕНИИ

Под качеством продукции понимают совокупность её свойств, определяющих пригодность продукции удовлетворять определённым потребностям в соответствии с её назначением. Качество изделия характеризуется тремя группами показателей:

1. *технический уровень* (мощность, КПД, производительность, экономичность и т.д.) – уровень взаимозаменяемости, унификации – определяет степень совершенства изделия;
2. *производственно-технологические показатели* (показатели технологичности конструкции) – характеризуют эффективность конструктивных решений с точки зрения обеспечения оптимальных затрат труда и средств на изготовление изделия;
3. *эксплуатационные показатели*, включающие:
  - а) показатели надёжности (долговечность, динамическое качество и т.д.);
  - б) эргономическую характеристику, т.е. степень учёта комплекса потребностей человека в системе "человек–машина–среда" (удобство рабочих органов, обзорность, уровень вибраций и шума и т.д.);
  - в) эстетическую характеристику;
  - г) экологичность эксплуатации.

Различают единичные и комплексные показатели. Применяют также интегральный показатель уровня качества – относительную характеристику, основанную на сравнении показателей качества данного изделия с соответст-

вующими показателями лучших отечественных и зарубежных образцов. Повышение качества изделия – ответственная задача, которая решается (наряду с другими) на стадии его технической проработки.

### 1.3. ТОЧНОСТЬ И СПОСОБЫ ЕЁ ОБЕСПЕЧЕНИЯ

Важнейшим показателем качества изделия является его *точность*. При изготовлении деталей невозможно достичь абсолютно точных номинальных размеров. Поэтому при составлении рабочих чертежей назначают допускаемые отклонения от начальных размеров, которые отвечают точности их изготовления.

Точность детали характеризуют следующими параметрами:

а) допускаемые отклонения действительных размеров от номинальных (показатель точности – точность JT01... JT17);

б) допускаемые отклонения от геометрической формы (овальность, огранка, некруглость, неплоскостность, нецилиндричность, непрямолинейность и т.д.);

в) допускаемые отклонения поверхностей и осей от их взаимного расположения или расположения относительно базы (несоосность, торцовое или радиальное биение, отклонение от перпендикулярных и параллельных плоскостей или осей и т.д.). Согласно ГОСТ устанавливают 16 степеней точности:

Пр и м е р: предельное отклонение формы.

$$d = 18 \dots 30 \text{ мм}$$

1 степень точности – 0,6 мм

радиальное биение – 16 мкм,

10 степень точности – 4,0 мм

радиальное биение – 100 мкм;

г) допускаемая шероховатость поверхности (микрогеометрические отклонения).

*Точность обрабатываемой детали* – степень соответствия её всем требованиям рабочего чертежа, технических условий и стандартов. Чем выше это соответствие, тем выше точность изготовления. Действительные отклонения параметров реальной детали от заданных номинальных их значений – *погрешность обработки*.

Необходимая точность обработки может быть достигнута следующими основными методами.

а) *Метод пробных рабочих ходов* – заключается в индивидуальной выверке устанавливаемой на станок заготовки, последовательного снятия стружки с короткого участка путём пробных рабочих ходов, сопровождаемых пробными замерами. Окончательная обработка производится по всей длине заготовки после корректировки положения режущего инструмента по данным пробных замеров.

Достоинства метода:

1. На неточном оборудовании можно получить высокую точность.

2. Исключается влияние износа режущего инструмента на точность, так как при проведении пробных ходов и замеров корректируется положение инструмента.

3. Исключает необходимость пользоваться сложными и дорогостоящими приспособлениями (кондукторами, поворотными и делительными головками и т.д.).

Недостатки:

1. Зависимость достигаемой точности от толщины снимаемой стружки, т.е. нет возможности внести поправку в размер меньше толщины стружки.

2. Высокая квалификация исполнителя.

3. Низкая производительность, высокая себестоимость.

Используется в единичном, мелкосерийном производстве. В серийном – "спасение брака".

б) *Метод автоматического получения заданного размера* – заключается в том, что партию заготовок обрабатывают на предварительно настроенном станке с установкой заготовок в приспособление без выверки их положения, а режущий инструмент при наладке станка устанавливают на определённый размер, называемый *настроенным*. Метод более производителен, так как обработка ведётся за один проход, а затраты времени на предварительную наладку раскладываются на всю партию деталей. Применяется в серийном и массовом производстве.

Преимущества:

1. Повышение точности и снижение брака.

2. Рост производительности.

3. Низкая квалификация рабочих.

Применяются также такие методы как:

1) за один проход с установкой размера по лимбу (нужное деление – пробной обработкой одной детали, или по эталону), – мелко-среднесерийное производство;

2) с использованием *подналадчика*, с использованием устройств, производящих измерение на ходу – автоматизированное производство.

### 1.4. ВЛИЯНИЕ ТРЕБОВАНИЙ ТОЧНОСТИ НА ТРУДОЁМККОСТЬ И СЕБЕСТОИМОСТЬ

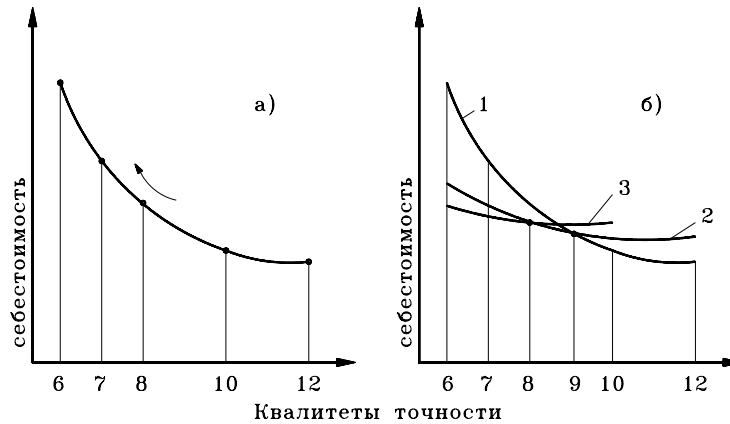
При обработке одной и той же заготовки с различной степенью точности изменяются трудоёмкость и себестоимость: при изготовлении деталей с меньшим допуском (большей точностью) они возрастают (рис. 1, а).

Это объясняется тем, что для достижения заданной точности обработки приходится применять больше

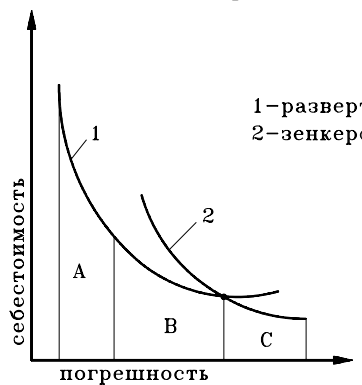
технологических методов, например: точение, шлифование, полирование и т.д.

На рисунке 1, б показано влияние отдельных методов обработки на себестоимость. Очевидно, что экономически целесообразно достигнуть  $JT < 8$  – чистовым шлифованием;  $8 < JT < 9$  – предварительным шлифованием;  $JT > 9$  – чистовым точением.

Показатель этой целесообразности – средняя экономическая точность определённого метода обработки, которая есть точность, получаемая в нормальных производственных условиях с меньшими затратами, чем при других сопоставимых методах обработки (рис. 2).



**Рис. 1. Влияние точности на себестоимость:**  
1 – чистовое точение; 2 – предварительное шлифование;  
3 – чистовое шлифование



**Рис. 2. Зоны экономической точности:**  
А – зона достижимой точности для развёртывания; В – зона экономической точности для развёртывания; С – зона экономической точности для зенкерования; 1 – развёртывание; 2 – зенкерование

Наряду со среднеэкономической точностью различают также достижимую точность, обеспечение которой связано с большими затратами, так как требует специальных приемов, высокой квалификации рабочего, тщательной подготовки инструмента.

## 1.5. ВИДЫ ПОГРЕШНОСТЕЙ

Все *первичные* (элементарные) погрешности разделяют на:

1) *систематические постоянные* – которые при обработке партии заготовок постоянны во времени по значению и знаку.

Пример: погрешность размера режущего инструмента (зенкера, развёртки, сверла), неточность формы фасонного резца, неперпендикулярность оси шпинделя и плоскости стола вертикально-сверлильного станка и др. Эти погрешности могут быть выявлены путём пробных замеров нескольких деталей.

2) *систематические функциональные переменные* – которые в процессе обрабатывания закономерно меняются по времени, т.е. в зависимости от числа обрабатываемых изделий.

Пример: износ режущего инструмента, тепловые деформации ОЗПИ до момента теплового равновесия и др.

Выявляются путём пробных замеров. Установив закон изменения можно снизить и даже устранить указанные погрешности.

3) *случайные погрешности* – которые для партии деталей имеют различные значения, предсказать их появление и характеризовать невозможно (делятся на непрерывные и дискретные).

Пример: погрешности установки детали и инструмента; упругое отжатие СПИД (ОЗПИ), определяемое неравномерностью твёрдости заготовки, погрешности из-за неравномерности припуска на обработку и т.д. Основная масса случайных погрешностей – *непрерывные*, имеющие значения в пределах определённого интервала. Дискретные встречаются редко (пример: погрешность регулировки при использовании устройств ступенчатого типа).

Для получения *результатирующей* погрешности необходимо суммировать погрешности по размеру и знаку, причём делают это различными методами:

- а) систематические постоянные – алгебраически (с учётом их знаков);
- б) систематические переменные – арифметически;
- в) случайные – по правилу квадратного корня.

## 1.6. ВЕРОЯТНОСТНО-СТАТИСТИЧЕСКИЙ МЕТОД ОЦЕНКИ ПОГРЕШНОСТЕЙ

### 1.6.1. ЗАКОН НОРМАЛЬНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ

Указанный метод используется для установления наиболее вероятного значения размеров обрабатываемой заготовки при данных условиях обработки. Метод основан на проведении обработки опытной партии заготовок с замерами требуемого параметра (размера). В полученном ряде размеров  $l_i$  выявляются предельные значения и определяется размах распределения  $\Delta P$ .

$$\Delta P = l_{\max} - l_{\min}.$$

Значения  $\Delta P$  разбивают на равные интервалы и определяют частоту повторений  $\omega$  отклонения размеров в каждом интервале

$$\omega = \frac{m}{n},$$

где  $m$  – число заготовок, фактический размер которых находится в пределах данного интервала;  $n$  – общее число деталей в партии.

Далее строят график (полигон) распределения размеров (рис. 3).

Пример:  $n = 100$  шт.,  $\Delta P = 0,16$  мм, интервал –  $0,02$  мм.

I – размерная группа – 5 дет.  $\omega = 0,05$

II – размерная группа – 13 дет.  $\omega = 13$  и т.д.

Известно, что распределение суммы большого числа взаимно независимых случайных слагаемых величин с малым влиянием каждой на общую сумму при отсутствии доминирующих факторов подчиняется *закону нормального распределения*.

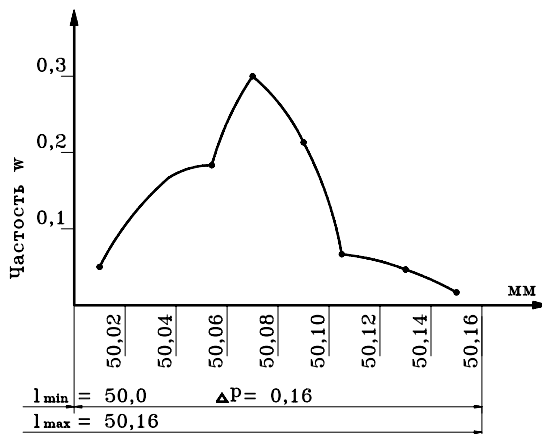


Рис. 3. Экспериментальная кривая

Для повышения плавности ломанной линии увеличивают число деталей ( $n$ ) и уменьшают интервал (например, принимают  $0,01$  мм).

Установлено, что при обработке заготовок способом автоматического получения размеров точность обработки подчиняется закону нормального распределения (рис. 4), который изображается математической кривой Гаусса с уравнением:

$$y = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-a)^2}{2\sigma^2}},$$



где  $\sigma$  – среднеквадратичное отклонение аргумента;  $\ell$  – основание натурального логарифма;  $a$  – центр группирования значений аргумента и в то же время среднеарифметическое отклонение аргумента.

Среднеквадратичное отклонение:

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - x_{cp})^2},$$

где  $n$  – число измерений;  $x_i$  – текущее значение измерения;  $x_{cp}$  – среднее арифметическое данных измерений.

$$x_{cp} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i.$$

Число  $n$  необходимо брать 50 и более.

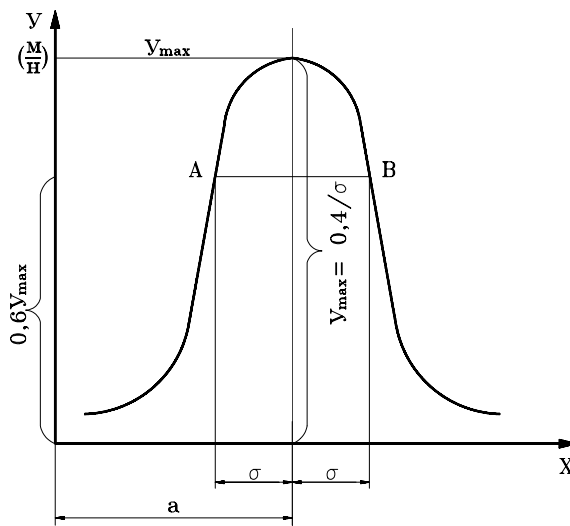


Рис. 4. Кривая Гаусса

Кривая нормального распределения симметрична. Ордината вершины  $Y_{max}$  будет при  $x = a$

$$Y_{max} = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} \approx \frac{0,4}{\sigma}.$$

Точка перегиба находится на расстоянии:

$$Y_A = Y_B = \frac{Y_{max}}{\sqrt{\ell}} \approx 0,6 Y_{max}.$$

Величина  $\sigma$  характеризует форму кривой распределения и является мерой точности данного метода обработки. С увеличением точности обработки  $\sigma$  уменьшается.

На рисунке 5 показаны кривые распределения:  $\sigma$  – после предварительного точения;  $\sigma_1$  – после чистового точения;  $\sigma_2$  – после шлифования.

При правильном построении технологического маршрута обработки  $\sigma > \sigma_1 > \sigma_2$ .

Изучение кривых распределения погрешностей позволяет выявить соотношения между числом годных и бракованных изделий. Если на обработку установлен допуск  $\delta$ , который определяется величинами  $x_1$  и  $x_2$  от центра группирования, то заштрихованный участок соответствует числу заготовок, входящих в поле допуска.

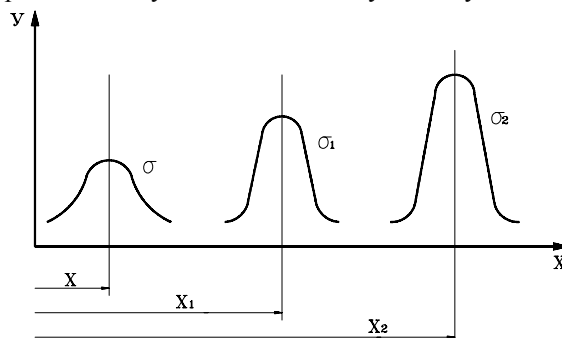
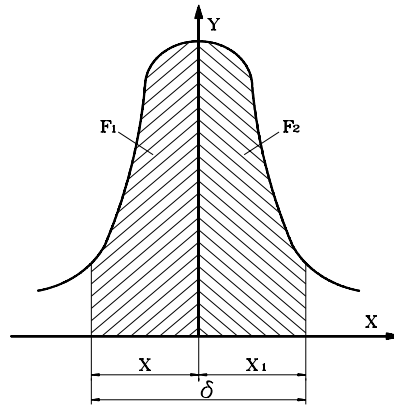


Рис. 5. Влияние точности механической обработки на  $\sigma$



**Рис. 6. Оценка соотношения бракованных и годных деталей**

Для определения площади (заштрихованной) необходимо проинтегрировать функцию  $y$  в пределах граничных значений  $x_1$  и  $x_2$ .

Установлено, что в интервале  $x = \pm 3\sigma$  площадь, ограниченная этим участком, составляет 0,9973 всей площади, т.е. 99,73 % обработанных заготовок будут годными. Процент брака – 0,27. Таким образом точность любого способа обработки можно установить по величине  $6\sigma$  (правило шести  $\sigma$ ), что достаточно точно для практических расчетов (рис. 6).

Закону Гаусса подчиняются многие непрерывные случайные величины: размеры детали; вес заготовок и деталей машин; твёрдость и другие характеристики механических свойств; высота микронеровностей на обработанных поверхностях; погрешности измерения и другие величины.

Метод оценки точности на основе кривых распределения универсален, позволяет объективно оценить точность механической обработки и других механических операций, но не позволяет оценить изменения параметра во времени, нельзя отличить переменные систематические погрешности от случайных – и, как результат, – отсутствует возможность активного воздействия на технологический процесс обработки заготовки.

### 1.6.2. СТАТИЧЕСКОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА

Под статическим регулированием технологического процесса понимается корректировка параметров процесса в ходе производства с помощью выборочного контроля из изготавливаемой продукции. Применяют:

- а) метод медиан и индивидуальных значений (используется при отсутствии автоматических измерительных средств);
- б) метод средних арифметических значений и размеров (используется при автоматических устройствах для контроля).

Методы применимы в случае если распределение размеров подчиняется законам Гаусса и Максвелла. Рассмотрим подробнее оба метода.

Метод медиан и индивидуальных значений (рис. 7).

Из потока продукции через определённые промежутки времени отбирают выборку объёмом от 3 – 10 единиц (чаще 5). Время между двумя отборами устанавливается в зависимости от стабильности ТП (обычно 1–2 часа).

Значения размеров наносят на специальную карту.

Пример:  $38_{-0,035}$

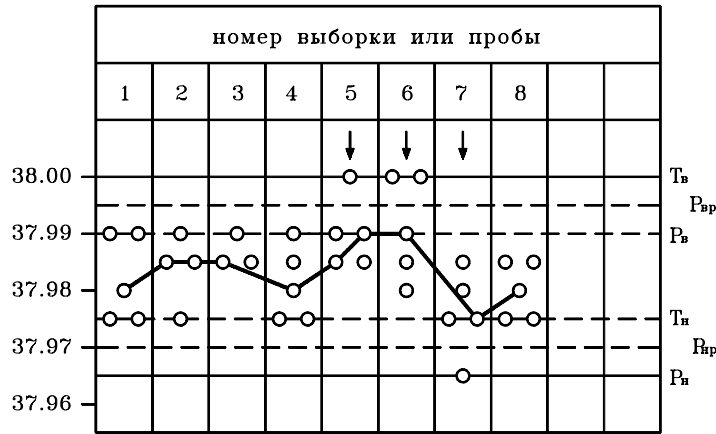


Рис. 7. Карта индивидуальных значений

Карта имеет две сплошные линии  $T_v$  и  $T_n$ , ограничивающие поле допуска, и четыре предупредительные:  $P_v$  и  $P_n$  – границы регулирования модели,  $P_{вр}$  и  $P_{нр}$  – границы регулирования крайних значений.

Положение предупредительных границ определяется по формулам на основе теоретических положений статического контроля.

Далее на карту наносятся результаты замеров, причём выделяют третье.

При выборе баз необходимо чётко представлять общий план обработки заготовки, который на последующих этапах проектирования детализируется и уточняется.

При  $n = 5$  значение: 37,99; 37,98; 37,975; 37,975.  $\bar{x} = 37,98$  – медиана, среднее значение упорядоченного по возрастанию или убыванию ряда чисел.

Протекание процесса нормальное, если  $\bar{x}$  не выходит за рамки  $P_v$  и  $P_n$ , а крайнее значение выборок за  $P_{вр}$  и  $P_{нр}$ . Если имеются выходы за границу (выборки 5, 6, 7) на карте делают отметку в виде стрелок и устраняют причину, вызывающую отклонение процесса. Продукцию между двумя выборками подвергают сплошному контролю.

Метод средних арифметических значений и размеров.

При использовании автоматических измерительных средств используют метод в целом схожий с описанным, но в качестве статических характеристик является среднее арифметическое значение  $\bar{x} = \sum \frac{x_i}{n}$  и размах

$$R = x_{i \text{ наиб}} - x_{i \text{ наим}}$$
 из  $i$ -й выборки.

## 1.7. БАЗИРОВАНИЕ

### 1.7.1. ПОНЯТИЕ О БАЗАХ, ИХ КЛАССИФИКАЦИИ И НАЗНАЧЕНИЕ

Качество изготовленного изделия во многом зависит от того, насколько правильно оно установлено и закреплено в процессе механической обработки, т.е. произведено её *базирование*.

При обработке заготовок на станках различают следующие поверхности (рис. 8):

- основные (А)* – с помощью которых определяют положение детали в изделии;
- вспомогательные (В)* – определяющие положение присоединяемых деталей относительно данной;
- исполнительные (С)* – поверхности, выполняющие служебное (функциональное) назначение (здесь – поверхность зуба колеса);
- свободные (Д)* – не соприкасающиеся с другими деталями и служащие для придания необходимой формы всей конструкции.

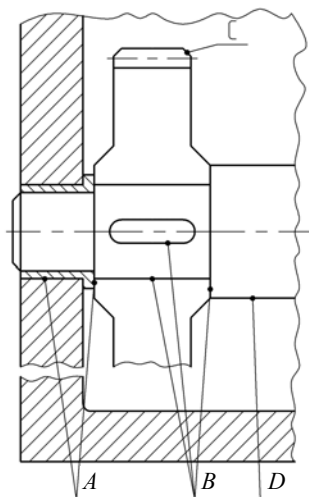


Рис. 8. Виды поверхностей

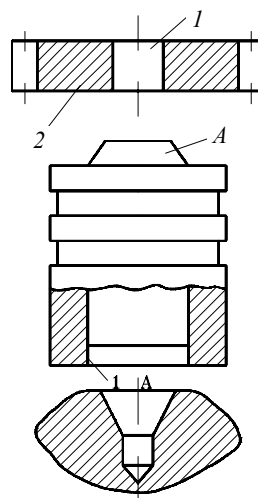


Рис. 9. Технологические базы

*База* – поверхность (сочетание поверхностей, ось, точка) принадлежащие заготовке (изделию), используемая для базирования.

*Базирование* – придание заготовке (изделию) требуемого положения относительно выбранной системы координат. По назначению базы делятся на:

1) *конструкторские* – определяющие положение детали (сборочные единицы) в изделии. Делятся на:

а) *основные* – определяющие положение самой детали в изделии.

б) *вспомогательные* – определяющие положение присоединяемой детали относительно данной.

2) *технологические* – используемые при определении положения заготовки или изделия при изготовлении или ремонте.

Различают *основные* и *вспомогательные* (искусственные) технологические базы.

*Основные* – являются неотъемлемым элементом конструкции, например: поверхность отверстия 1 и торец заготовки 2, используемые для базирования при нарезании зубьев, являются основными технологическими базами (рис. 9).

*Вспомогательные базы* – поверхности, специально создаваемые из детали из технологических соображений, а для работы детали они не нужны, например: центровые гнезда валов (A), центрирующий поясok 1; прилив с центральным отверстием (A) у поршня. Возможность создания искусственных баз должна быть предусмотрена в конструкции детали.

3) *измерительные* – используемые для определения относительного положения заготовки (или изделия) и средств измерения.

Известно, что требуемое положение твёрдого тела относительно системы координат  $Oxyz$  может быть задано наложением на него шести двусторонних связей, лишаящих тело трёх перемещений вдоль осей  $Ox$ ,  $Oy$ ,  $Oz$  и трех поворотов вокруг этих осей.

Наложение двусторонних связей достигается соприкосновением базирующих поверхностей тела с базирующими поверхностями других тел, к которым оно присоединяется, и приложением силового замыкания для обеспечения необходимого контакта.

Рассмотрим схему базирования призматической заготовки (несмотря на разнообразие деталей они, как правило, представляют собой набор элементарных поверхностей) (рис. 10).

Основание призмы  $yOx$  будет иметь три опорные точки (двусторонние связи). При этом тело лишается трёх степеней свободы: (1) – перемещение  $Oz$ ; (2–3) – вращение вокруг  $Ox$  и  $Oy$ .

Фиксируясь по плоскости  $yOz$  с помощью двух опорных точек (двух связей) тело лишается двух степеней свободы: (4) – перемещение по  $Ox$ ; (5) – вращение вокруг оси  $Oz$ .

И, наконец, возможности перемещаться вдоль оси  $Oy$  (6) тело лишается из-за точечного контакта с плоскостью  $zOx$ .

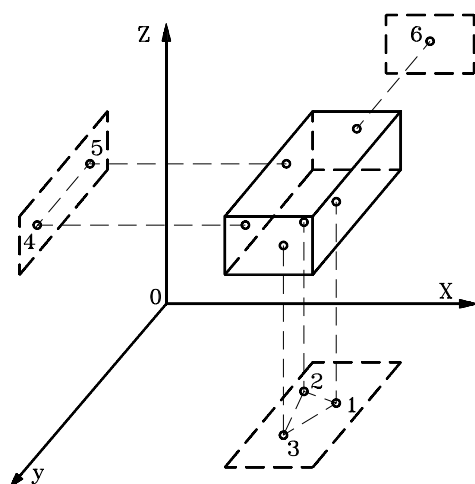


Рис. 10. Базирование призматической заготовки

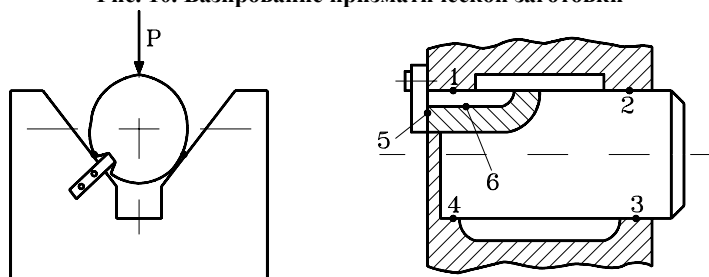


Рис. 11. Варианты базирования

Базирование заготовок с обязательным лишением их всех степеней свободы – *правило шести точек*. В зависимости от количества лишаемых степеней свободы (рис. 11) базы классифицируются на:

- 1) *установочные* – с наиболее развитой площадью, включающие три опорные точки и лишаящие тело трёх степеней свободы (перемещение вдоль одной и вращение вокруг двух других осей);
- 2) *направляющие* – поверхности наибольшей длины, включающие две опорные точки, и лишаящие тело двух степеней свободы (перемещение вдоль одной оси и вращение вокруг другой);
- 3) *опорные* – имеющие одну опорную точку, лишаящие тело одной степени свободы (перемещение вдоль оси, или вращение вокруг неё).

При базировании цилиндрических заготовок (например, в призме) их положение определяется четырьмя опорными точками, расположенными на цилиндрической поверхности, образующими двойную *направляющую базу*.

Указанные выше схемы базирования – схемы *полного базирования*, т.е. с лишением всех степеней свободы (комплект из трёх баз). При лишении тела только в одном направлении применяют *схемы упрощённого базирования*.

При обработке поверхности, определяемой размерами  $a$  и  $b$  неточность установки относительной оси  $u$  не имеет значения, поэтому достаточно двух базирующих поверхностей (I и II), а торец заготовки используют как опорную (но не базирующую!) поверхность, прилегающую к упору (рис. 12).

По конструктивному оформлению базы подразделяются на скрытые и явные.

К *скрытым* базам относятся воображаемые плоскость, ось или точка, используемые в качестве одной из баз.

К *явным* (конструктивно оформленным) базам относятся реальные поверхности, разметочные риски, точки пересечения рисок.

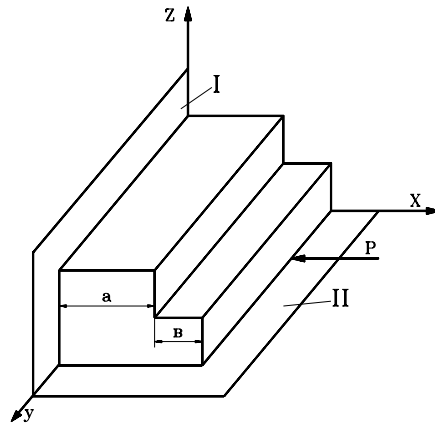


Рис. 12. Вариант упрощённого базирования

На основании вышеизложенного выявляется следующая классификация баз:

А (по назначению)	Б (по лишаемым степеням свободы)	В (по конструктивному оформлению)
Конструкторские: основная вспомогательная	Установочная Направляющая Опорная	Скрытые Явные
Технологические: основная искусственная	Двойная направляющая Двойная опорная	
Измерительная		

При образовании терминов баз по нескольким классификационным признакам последние должны располагаться в следующей последовательности: А → Б → В

Например:

1. Основная (А) установочная (Б) явная (В) база.
2. Технологическая (А) направляющая (Б) скрытая (В) база и т.д.

### 1.7.2. ПРАВИЛО БАЗИРОВАНИЯ, ВЫБОР БАЗ

Для обеспечения требуемой точности механической обработки необходимо принять меры для уменьшения возникающих погрешностей. С этой целью применяют следующие *принципы выбора баз*:

а) *принцип постоянства баз* заключается в том, что при возможно большем числе операций используется одна и та же база. При этом на последующих операциях исключается влияние погрешностей взаимного расположения технологических баз на точность изготовления детали.

б) *принцип совмещения баз* заключается в том, что в качестве технологических баз используют конструкторские и измерительные базы.

Возможность совмещения технологической, измерительной и конструкторской баз при обработке детали должна учитываться конструктором в процессе проектирования и технологом при разработке ТП.

В технологии установочные (технологические) базы разделяются на: *черновые, промежуточные и окончательные*.

*Черновые* базы используются на первых операциях обработки, когда ещё нет обработанных поверхностей на заготовке. Они служат для создания промежуточных установочных баз, а часто сразу окончательных, которые служат для проведения отделочных (финишных) операций. При выборе базовых поверхностей по ходу проведения ТП следует придерживаться следующих рекомендаций:

1. Всемерно использовать принцип совмещения и постоянства баз.
2. Придерживаться правила шести точек, т.е. обеспечить устойчивость и жёсткость установки, необходимую ориентацию её в приспособлении.
3. Черновую базу используют, как правило, однократно – на первой установке (для заготовок полученных точными методами литья и штамповки это правило не обязательно). За черновые базы применяют поверхности с наименьшим припуском на обработку. При выборе черновой поверхности за базовую следует выбирать ту поверхность, которая остаётся необработанной в готовом изделии.
4. На первых операциях ТП обрабатывают основные базовые поверхности (чистовые базы) или искусственные базовые поверхности.

5. Чистовые установочные базы должны быть базами конструкторскими (это исключает погрешность базирования); должны иметь наибольшую точность формы и размеров, малую шероховатость.

В зависимости от сложности детали имеется несколько *схем базирования*:

1. Заготовку базируют на необработанные поверхности и за одну операцию проводят полную обработку (на автоматах, агрегатных станках и т.п.).

2. Заготовку базируют при большей части операции на обработанные, несменяемые поверхности, подготовленные на первых операциях с базированием на черновые базы. Эта схема используется на более сложных деталях, обрабатываемых в несколько установов.

3. То же, что и в пункте 2, но перед последней операцией базовые поверхности обрабатываются окончательно. Используется эта схема при сложных деталях высокой точности.

4. Заготовку базируют на различные обработанные поверхности. Схема нежелательная, используется на деталях с особыми требованиями.

5. Базирование заготовки с повторной (многократной) обработкой последовательно сменяемых баз. Пример: шлифование бруска (предварительное и окончательное) на магнитной плите с последовательным перевёртыванием заготовки.

При выборе технологических баз необходимо придерживаться основных принципов, а также:

– при вынужденной смене баз следует переходить от менее точной и более точной базе (принцип последовательной смены баз).

– следует использовать типовые схемы установки.

## 1.8. ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА ТОЧНОСТЬ ОБРАБОТКИ

В процесс обработки заготовки возникают отклонения от геометрической формы и размеров, заданных чертежами. Эти отклонения обязаны находиться в пределах допусков, определяющих наибольшие допустимые значения погрешностей. Суммарная (окончательная) погрешность складывается из целого ряда факторов, определяющих значения этих погрешностей. Рассмотрим основные из них.

### 1.8.1. ПОГРЕШНОСТЬ УСТАНОВКИ ЗАГОТОВКИ ( $\Delta\epsilon_y$ )

Возникает при установке заготовки непосредственно на станке или в приспособлении и определяется как:

$$\Delta\epsilon_y = \sqrt{\Delta\epsilon_6^2 + \Delta\epsilon_3^2 + \Delta\epsilon_{пр}^2},$$

где  $\Delta\epsilon_6$  – погрешность базирования;  $\Delta\epsilon_3$  – погрешность закрепления;  $\Delta\epsilon_{пр}$  – погрешность положения заготовки в приспособлении.

Составляющие  $\Delta\epsilon_y$  – случайные величины, поэтому суммируются по правилу геометрического сложения.

$\Delta\epsilon_{пр}$  – возникает вследствие неточности изготовления станочного приспособления, не связана с процессом установки заготовки и поэтому часто учитывается в расчётах отдельно. Значения  $\Delta\epsilon_{пр}$  определяют по справочникам.

*Погрешность базирования*  $\Delta\epsilon_6$  – возникает в результате базирования заготовки по технологическим базам, несвязанным с измерительными базами. Численное значение определяют при помощи геометрических расчётов для конкретной схемы установки детали (приводится в справочной литературе).

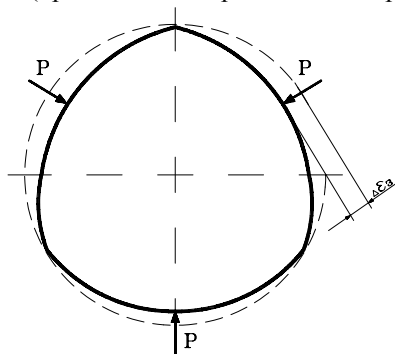


Рис. 13. Погрешность закрепления тонкостенной оболочки в трёхкулачковом патроне токарного станка

*Погрешность закрепления*  $\Delta\epsilon_3$  – возникает в процессе закрепления заготовки в связи с колебаниями величины контактных деформаций стыка "заготовка–опора–приспособление" (рис. 13). Зависит от условий контакта, материала и твёрдости базовой поверхности заготовки (коэффициент  $C$ ), силы, действующей на опору ( $Q$ );

направления наибольшего смещения ( $\alpha$ )

$$\varepsilon_3 = C \cdot Q^n \cdot \cos \alpha ,$$

где  $\varepsilon_3$  – смещение из-за контактного деформируемого стыка;  $n$  – эмпирический коэффициент. Значения  $\Delta\varepsilon_3$  – справочные данные.

### 1.8.2. ПОГРЕШНОСТЬ, ВЫЗВАННАЯ НЕЖЁСТКОСТЬЮ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ (ЛОЗПИ)

Обрабатываемая заготовка, установленная на станке с приспособлениями и режущим инструментом, представляет собой замкнутую упругую систему (рис. 14).

На точность обработки влияют преимущественно те деформации, которые изменяют расстояние между режущей кромкой инструмента и обрабатываемой поверхностью, т.е. направленные нормально (перпендикулярно) к обрабатываемой поверхности (составляющая  $P_y$ ).

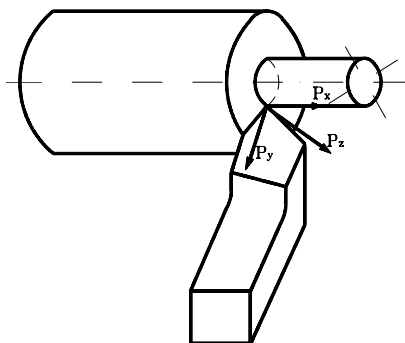


Рис. 14. Составляющие силы резания:

$P_x$  – нормальная;  $P_y$  – радиальная;  $P_z$  – тангенциальная

*Жёсткостью технологической системы* ОЗПИ (оборудование, заготовка, приспособление, инструмент) называется отношение радиальной составляющей силы резания  $P_y$  к смещению режущей кромки резца относительно обрабатываемой заготовки, отсчитываемое в направлении действия этой системы.

$$J = \frac{P_y}{y} ,$$

где  $J$  – жесткость, (н/м; кг/мм);  $P_y$  – радиальная составляющая силы резания, (н; кг);  $y$  – смещение (мм).

Упругие свойства составляющего элемента технологической системы характеризуются *податливостью*, т.е. величиной обратной жёсткости (отношение перемещения к силе).

$$\omega = \frac{J}{P_y} , \text{ (м/н; мм/кг)} .$$

*Жёсткость* технологической системы – способность противостоять действию силы, вызывающий деформацию.

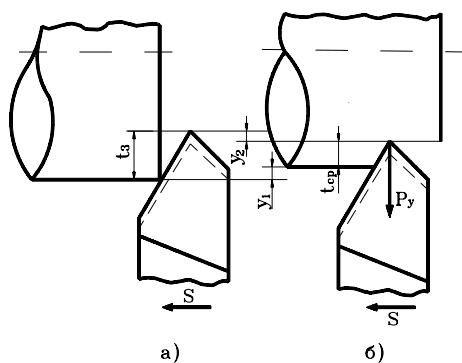
Податливость технологической системы – способность деформироваться под действием силы резания.

Жёсткость станков (нормальной точности)  $j = 2000 \dots 4000$  кгс/мм, но есть станки с  $j$  до 10 000 кгс/мм.

Методы исследования жесткости:

- статистический (нагружение узлов неработающего станка);
- производственный (динамический).





**Рис. 15. Схема для расчёта:**  
 а – позиция до начала резания; б – в процессе резания

В результате отжатий элементов ОЗПИ (рис. 15) изменяются технологические параметры режима резания и, в частности,  $t_3$  – заданная глубина резания;  $y_1$  – смещение заготовки;  $y_2$  – смещение инструмента;  $P_y$  – составляющая силы резания по нормали.

Фактическая глубина резания  $t_\phi$

$$t_\phi = t_3 - (y_1 + y_2),$$

где  $t_3$  – заданная глубина резания.

$$y_1 = P_y \omega_1;$$

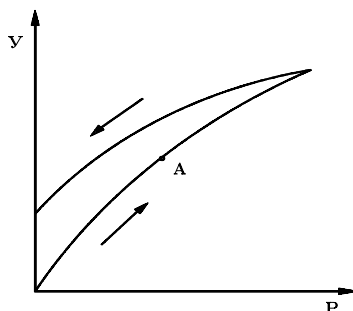
$$y_2 = P_y \omega_2,$$

где  $\omega_1$  – податливость элемента технологической системы, включающей заготовку, станочное приспособление и узел станка, на котором закрепляется станочное приспособление;  $\omega_2$  – податливость элемента технологической системы, включающего инструмент, приспособление для крепления инструмента и узел станка, на котором это приспособление закреплено;  $P_y$  – радиальная составляющая силы резания.

Сумма смещений  $y = y_1 + y_2$  – есть погрешность размера, и определяется как

$$y = t_3 + t_\phi = P_y (\omega_1 + \omega_2) = P_y \omega_c,$$

где  $\omega_c$  – податливость технологической системы.



**Рис. 16. Диаграмма "нагрузка–перемещение"**

Жёсткость элементов технологической системы статическим методом находится экспериментально. Для этого проводят статическое нагружение от нуля до некоторой наибольшей величины. Для каждого значения измеряется отжатие по нормали к обрабатываемой поверхности. Далее ведут ступенчатое разгрузку при тех же значениях и фиксируют *остаточное* отжатие (рис. 16).

По данным при нагружении и разгрузке строят зависимости  $y = f(P_y)$ . Истинную жёсткость для каждого текущего момента можно найти по отношению приращения силы в данной точке кривой к приращению перемещения. В упрощённых технологических расчётах берётся средняя жёсткость (абсцисса точки А как среднее значение силы).

Повышение жесткости достигают:

- 1) улучшением конструкции станков и приспособлений;
- 2) затяжкой стыков;

- 3) подгонкой сопряжённых поверхностей;
- 4) уменьшением высоты вылета элементов технологической системы;
- 5) увеличением опорных поверхностей;
- 6) использованием дополнительных опор и другие приемы.

Все перечисленное увеличивает жёсткость, что, в свою очередь, повышает точность и производительность обработки. На практике важно не только увеличивать жёсткость отдельных элементов системы, но и выравнять её по всем направлениям и в различных сечениях технологической системы. Необходимо учитывать не статический а динамический характер силы резания, так как она изменяется скачкообразно (по амплитуде колебаний) и точка её приложения в процессе обработки меняется. В технологических расчётах упругих отжати значение силы резания умножают на динамический коэффициент. Его принимают при предварительной обработке  $K = 1,2 \dots 1,4$ ; при чистовой  $K = 1,0 \dots 1,2$ , причём меньшие значения соответствуют безвибрационной механической обработке.

### 1.8.3. ПОГРЕШНОСТЬ ЗА СЧЁТ ИЗНОСА РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА ( $\Delta_{ин}$ )

В процессе механической обработки режущий инструмент подвергается износу. При обработке деталей на настроенном станке размерный износ приводит к изменению размеров обрабатываемых заготовок (увеличение размера).

Режущая кромка отдалается от обрабатываемой поверхности, что свидетельствует об износе режущего инструмента по задней стенке, причём износ идет непрерывно. Возможно округление режущей кромки (для инструмента из стали типа ХВГ) и выкрашивание контактных поверхностей (для твёрдосплавного инструмента ТК, ВТК, ВК).

Величину износа приближённо можно считать прямо пропорциональной времени резания или пути, пройденному инструментом по металлу.

Величину размерного износа инструмента определяют по нормали к обрабатываемой поверхности.

Более точное исследование износа показало – процесс не подчиняется линейному закону. Различают три этапа.

Первый – непродолжительный – сопровождается повышенным износом, второй – (основной период) – характеризуется нормальным износом (участок прямолинеен), третий – период быстрого износа и разрушения.

Первый период характеризуется начальным износом (рис. 17)  $U_n$ , мкм. Второй – *относительным* (удельным) износом  $U_0 = \text{tg}\beta = \frac{U_2}{\ell_2}$ , мк/кн. Зная  $U_n$  и  $U_0$  можно определить *размерный износ* (мкм) на длине пути резания:

$$\Delta U = U_n + \frac{U_0 L}{1000},$$

где  $L$  – в метрах.

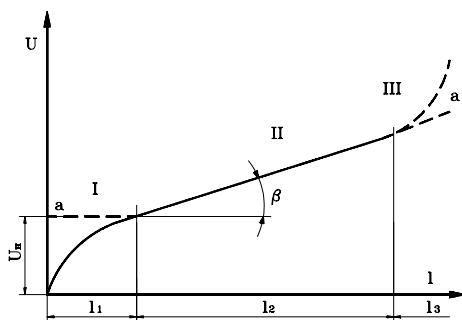


Рис. 17. Кривая износа

Для различных методов обработки эта формула видоизменяется, например:

- при протягивании деталей

$$\Delta U = U_n + \frac{U_0 \ln}{10^5},$$

где  $L$  – длина протягивания;  $h$  – количество деталей в партии;

- при строгании:

$$\Delta U = U_n + U_0 \frac{\ell B}{10^6 \cdot S},$$

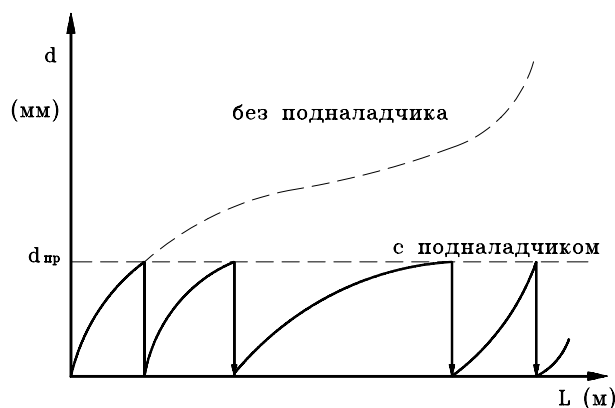
где  $\ell$  и  $B$  – длина и ширина обрабатываемой плоскости;  $S$  – подача на один двойной ход;

– при продольном точении:

$$\Delta U = U_n + U_o \frac{\pi d \ell}{10^6 \cdot S},$$

где  $d, \ell$  – диаметр и длина обрабатываемой поверхности;  $S$  – подача на оборот.

Для уменьшения влияния размерного износа на точность (рис. 18) применяется подналадка станка (наиболее эффективен – автоматический подналадчик).



**Рис. 18. Автоматическая подналадка на размер:**  
 $d_{пр}$  – предельный размер

Пр и м е р: значения износа при чистовом точении:

Конструкционный материал	Инструмент	$U_n$ , мкм	$U_{отн}$ , мкм/км
Сталь углеродистая	T15K6	2...8	2...10
Сталь углеродистая	Цм332	1...3	0,5...1
Сталь углеродистая	эльбор	1...3	0,003
Цветные сплавы	алмаз	1...3	0,0005...0,001

#### 1.8.4. ПОГРЕШНОСТЬ ЗА СЧЁТ НАСТРОЙКИ СТАНКА ( $\Delta_{настр}$ )

Величина погрешности, возникающая из-за необходимости периодической смены затупившегося инструмента, т.е. настройки и поднастройки. Зависит от методов настройки.

Таких методов два:

1. Установка режущего инструмента последовательным приближением к заданному размеру при обработке на станке пробных деталей.
2. Установка режущего инструмента по шаблону (эталону).

В расчетах принимают эту погрешность равной  $2\sigma$  или  $0,1\delta$ , где  $\sigma$  – среднеквадратичное отклонение;  $\delta$  – допуск на размер.

#### 1.8.5. ПОГРЕШНОСТЬ ЗА СЧЁТ ТЕПЛОВЫХ ДЕФОРМАЦИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ( $\Delta t$ )

Учёт *тепловых деформаций* важен. Нагреву и охлаждению подвержена вся система, т.е. станок–инструмент–деталь. Тепловое состояние  $V$  различают как стационарное и нестационарное. Считают, если станок предварительно разогреют и обрабатывается небольшая заготовка, то тепловое состояние системы стационарно. Нестационарное появляется при запуске станка после длительной остановки. Влияние тепловых деформаций на точность растёт когда поглощение тепла заготовкой увеличивается, например, при обработке внутренней поверхности тонкостенной втулки. Общие тепловые деформации складываются из: а) тепловых деформаций станка, б) заготовок, в) инструмента:

а) нагрев деталей станков происходит от потерь на трение в механизмах, электроустановках, гидросистемах. Тепло может передаваться от внешней среды, например: перепад температур в корпусе передней бабки может составлять  $50\text{ }^\circ\text{C}$ ;

б) при резании происходит передача тепла заготовке. Основная часть тепла уходит со стружкой, так при токарной обработке с большой скоростью резания со стружкой уходит свыше 90 % тепла. При принудительном охлаждении заготовка практически не нагревается;

в) резец в целом также при активном охлаждении не перегревается, в то время как в некоторых случаях режущая кромка нагревается до 850 °С.

Величину погрешности можно определить, зная перепад температур, коэффициент линейного расширения и размеры детали.

Пр и м е р: нельзя проводить чистовую обработку заготовки сразу после черновой, так как в результате обдирочной операции происходит значительный нагрев заготовки.

Меры снижения влияния  $\Delta t$  :

- 1) предварительный прогрев станков на холостых оборотах;
- 2) использование СОЖ;
- 3) термостатирование цехов.

#### 1.8.6. ПОГРЕШНОСТИ, ВЫЗВАННЫЕ ОСТАТОЧНЫМИ НАПРЯЖЕНИЯМИ В МАТЕРИАЛЕ ЗАГОТОВОК ( $\Delta_{ост}$ )

*Остаточные* (собственные) напряжения – напряжения, существующие в заготовке или готовой детали при отсутствии внешних нагрузок. Остаточные напряжения полностью уравниваются и внешне не проявляются. Однако, при нарушении значительного равновесия, вызываемого сжатием материала при механической обработке, химическим или термическим воздействием, – деталь начинает деформироваться с целью восстановления стабильности внутренних напряжений. Остаточные напряжения делятся на две группы: конструктивные и технологические.

*Конструктивные* – возникают в деталях в процессе их эксплуатации в результате взаимодействия конструктивных элементов изделия.

*Технологические* – возникают на стадии изготовления детали в результате:

- а) неоднородного (неравномерного) нагрева или охлаждения;
- б) фазовых, структурных превращений металле;
- в) диффузионных процессов в металле;
- г) пластических деформаций (наклёп).

Технологические остаточные напряжения в зависимости от способа изготовления делятся на:

- а) литейные;
- б) сварочные;
- в) термические;
- г) ковочные;
- д) от наклепа;
- е) от холодной правки и т.д.

С целью уменьшения погрешностей, связанных с остаточным напряжением, применяют специальные методы, например: термические обработки (отжиг, нормализация и т.д.); механические обработки (вибрации, обкатка и т.д.)

#### 1.8.7. ПОГРЕШНОСТЬ ОТ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ НЕТОЧНОСТЕЙ СТАНКА ( $\Delta_{ст}$ )

Следующая причина возникновения погрешностей механической обработки – *геометрические неточности* станка. Узлы станка вместе представляют собой единую технологическую систему. Одни узлы связаны с режущим инструментом, другие – с обрабатываемой заготовкой. Погрешности взаимного положения узлов станка оказывают влияние на форму и расположение поверхностей обработки, но не влияют на размер детали. Причиной может служить неточность сборки станка, неправильная обработка основных деталей станка, неточность его установки, неправильное крепление на фундаменте, например: биение переднего центра (эксцентricность относительно оси вращения шпинделя при обтачивании за два установа) – "двуосность детали" (рис. 19).

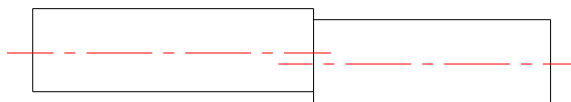


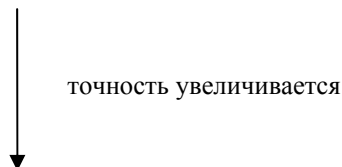
Рис. 19. Двуосность детали

Геометрические погрешности станка могут быть следствием старения, т.е. износа станка. Эти погрешности регламентированы нормами точности, указанными в соответствующих ГОСТ. Точность станка и точность обработки взаимосвязаны и первая влияет на вторую. Но надо уточнить, что возможности станка выше, т.е. нормы точности обработки всегда ниже норм точности соответствующих станков.

В этих нормах ГОСТ даются методы проверки точности, осуществляемые в ненагруженном состоянии при неподвижном положении узлов или медленном их перемещении вручную. Погрешности, указанные в ГОСТ соответствуют новым станкам, после ремонта нормы точности принимают ниже.

Величина рассматриваемых погрешностей связана с точностью станков, которые по точности делятся на 5 классов:

- 1) нормальной
- 2) высокой
- 3) особовысокой
- 4) сверхточной
- 5) прецизионные



### 1.8.8. РАСЧЁТ СУММАРНОЙ ПОГРЕШНОСТИ ОБРАБОТКИ ( $\Delta\Sigma$ )

Посторонние погрешности складываются алгебраически  $\rightarrow \Sigma\Delta_{\text{пост}}$ .

Погрешности случайные  $\Delta_{\text{сл}}$  и функциональные  $\Delta f$  складываются по правилу квадратного корня:

$$\Delta_{\text{сл}}(f) = K\sqrt{\Delta_{\text{сл}}^2 + \Delta f^2},$$

где  $K$  – коэффициент относительного рассеивания;  $K = 1,2$  – нормальный закон распределения;  $K = 1,22$  – закон Симпсона;  $K = 1,14$  – закон Максвелла.

Суммарная погрешность определяется:

$$\Delta\Sigma = \Sigma\Delta_{\text{пост}} + K\sqrt{\Delta_{\text{сл}}^2 + \Delta f^2}.$$

## 1.9. КАЧЕСТВО ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ И ЗАГОТОВОК

### 1.9.1. ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КАЧЕСТВА ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ

*Качество поверхности* – совокупность физико-химических свойств, геометрических показателей поверхностного слоя как результат технологического воздействия на данную поверхность.

Поверхностный слой – поверхностный объём материала существенно отличающийся от материала сердцевины детали. Глубина этого слоя различна в зависимости от условий обработки, определяющих технологию изготовления изделия.

П р и м е р: несколько мкм – калибр, несколько сотен мкм – вал.

В соответствии с современными представлениями качество поверхностного слоя – комплексное понятие, определяемое двумя группами характеристик (рис. 20).

Волнистость занимает промежуточное место между погрешностями формы и шероховатостью. Критерий их разграничения – отношение шага  $S$  к высоте шероховатостей  $R$ .

*Допуски формы и расположения* поверхностей устанавливает ГОСТ. Для каждого вида допусков формы и расположения установлено 16 степеней точности.

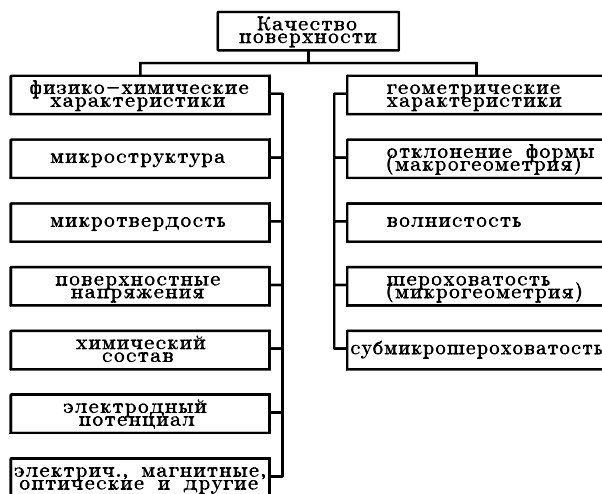


Рис. 20. Схема зависимости характеристики поверхностного слоя

*Волнистость* в настоящее время не нормирована (рис. 21). Согласно рекомендациям волнистость определяется:

- а) высотой волнистости ( $W_z$ );

б) средним шагом волнистости  $S_w$ .

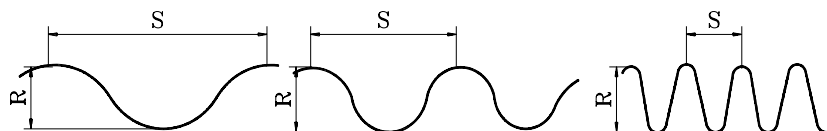


Рис. 21. Критерии разложения геометрических характеристик

$\frac{S}{R} > 1000$	$\frac{S}{R} = 50 \dots 1000$	$\frac{S}{R} < 50$
отклонение формы	волнистость	шероховатость

### 1.9.2. ВЛИЯНИЕ КАЧЕСТВА ПОВЕРХНОСТИ НА ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА ДЕТАЛЕЙ

Качество поверхности оказывает существенное влияние на эксплуатационные свойства изделия: износостойкость, коррозионную стойкость, усталостную прочность, стабильность посадок, герметичность и т.д.

При *отклонении формы* поверхности наблюдается неравномерный износ отдельных участков детали (бочкообразной – средние участки, седлообразной – крайние).

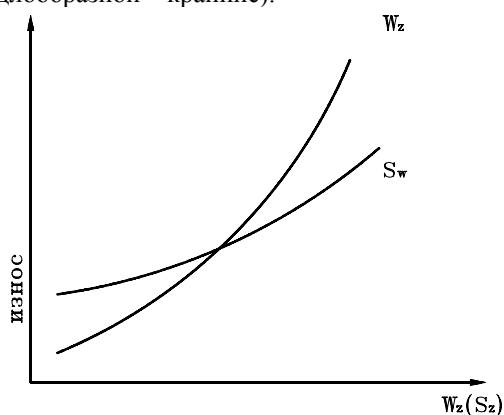


Рис. 22. Влияние параметров волнистости на износ

*Волнистость* (наряду с макронеровностями) определяет размеры участков, в которых находятся зоны фактического контакта, т.е. определяют контурную площадь касания (рис. 22). Наличие волн уменьшает опорную площадь в 5 – 10 раз.

Высота волнистости  $W_z$  важнее, чем  $S_w$ , так как она больше сказывается на величине опорной площади.

Влияние шероховатости на износ деталей связано со сроком эксплуатации (временем работы).

Экспериментально установлено, что наименьший износ достигается не при минимальной шероховатости, а при её оптимальном значении (рис. 23).

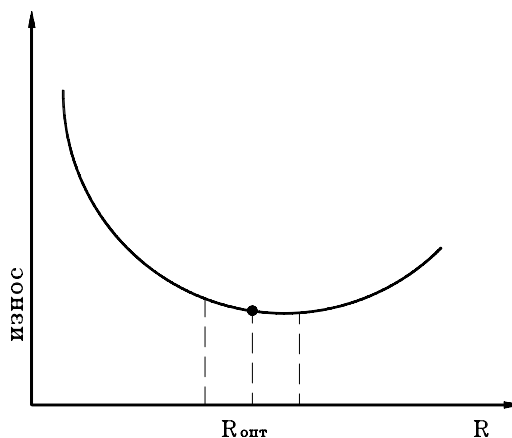


Рис. 23. Зависимость износа от оптимальной шероховатости

При  $R > R_{\text{опт}}$  – изнашивание увеличивается за счёт возрастания механического зацепления, скалывания и среза неровностей.

При  $R < R_{\text{опт}}$  – резко увеличивается изнашивание за счёт молекулярного сцепления и заедания поверхностей из-за выдавливания смазочного материала и плохой смачиваемости зеркальных поверхностей. При-

мер: 1. Пришабренные, виброобкатанные поверхности лучше работают, чем притёртые, так как они имеют "карманы" для хранения смазки. 2. Работа подшипников скольжения.

Шероховатость оказывает также влияние на:

- 1) стабильность *неподвижных посадок* (запрессовка). С увеличением  $R$  снижается фактический контакт и прочность сцепления сопрягаемых деталей;
- 2) прочность детали при циклических нагрузках;
- 3) на коррозионную стойкость, так как на шероховатой поверхности легче разрушается первичная защитная плёнка под влиянием внутренних напряжений.

### 1.9.3. ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА КАЧЕСТВО ПОВЕРХНОСТИ. ЗАВИСИМОСТЬ ШЕРОХОВАТОСТИ ОТ УСЛОВИЙ ОБРАБОТКИ

Качество поверхностного слоя заготовок и обработанных деталей зависит от ряда факторов. Разнообразно влияние факторов, связанных с процессом получения заготовок. Изготовление заготовки из проката отвечает шероховатости прокатных валков.

Заготовки, полученные свободной ковкой, имеют шероховатости 1,5...4 мм. У горячештамповочных заготовок воспроизводится поверхность штампов, неровности которых составляют 150...500 мкм. Для отливок – шероховатости стенок литевых форм, величины зёрен формовочной смеси, плотность набивки, например: при литье крупных заготовок неровности достигают 1500 мкм, при литье под давлением – 10 мкм, при машинной формовке – 300 мкм.

На шероховатость заготовок при обработке резанием также влияет ряд факторов.

Прежде всего, шероховатость зависит от метода обработки. Каждому методу отвечает определённый диапазон высоты микронеровностей, форма штрихов от инструмента и схема их расположения определяется кинематикой движения режущего инструмента относительно заготовки.

Влияние режимов резания значительно. Наибольшее оказывает скорость резания, с увеличиваем которой до  $\approx 25$  м/мин высота неровностей достигает максимального значения (рис. 24). При всех прочих неизменных условиях дальнейшее увеличение скорости уменьшает шероховатость. На шероховатость влияют пластические явления, захват и отрыв слоёв металла (для стали) и хрупкого вырыва частиц (серый чугун). Подача на шероховатость влияет при различных методах неодинаково. Например, при точении резцами с широкой режущей кромкой влияние подачи практически отсутствует, что позволяет повысить производительность отделочных операций. Незначительное влияние подачи на шероховатость наблюдается при сверлении, зенкервании, торцовом и цилиндрическом фрезеровании.

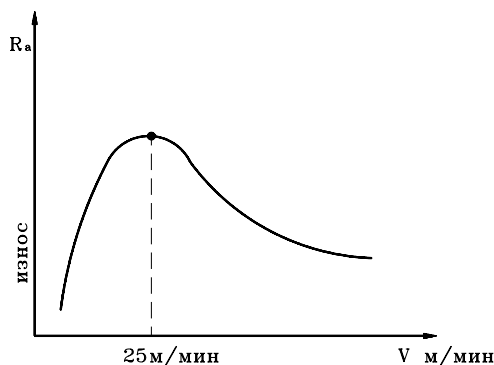


Рис. 24. Зависимость шероховатости от скорости резания

Глубина резания заметно не влияет на шероховатость если жёсткость системы велика. Форма режущей кромки инструмента так же влияет на шероховатость.

При шлифовании шероховатость снижается с увеличением окружной скорости вращения заготовки и размера зёрен абразива.

На шероховатость поверхности влияют механические свойства, химический состав и структура материала, например: из низкоуглеродистых сталей трудно получить поверхности с высоким уровнем обработки, т.е. с низкой шероховатостью.

## 1.10. ФОРМИРОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ МЕТОДАМИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ

### 1.10.1. УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ ПОВЕРХНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ

Целенаправленное формирование поверхности изделия с заданными свойствами в процессе изготовления – важнейшая задача современного машиностроения.

Многие характеристики качества поверхности зависят от технологического метода и условий обработки деталей. Конструктору целесообразно назначать метод обработки поверхности, обеспечивающий получение оптимальной шероховатости в зоне контактирования, уже на стадии изготовления изделия.

До недавнего времени исследование путей улучшения качества поверхности ограничивалось рассмотрением условий проведения *последней операции*, завершающей технологический процесс изготовления детали. Однако, последние исследования показали, что существует технологическая наследственность – перенос свойств обрабатываемого изделия от предшествующих операций к последующим. Это сказывается в дальнейшем на эксплуатационных свойствах изделия, определяемых:

- 1) методами и режимами, используемыми в отдельных операциях механической и термической обработки;
- 2) видом и состоянием режущего инструмента;
- 3) условиями его охлаждения;
- 4) размерами операционных припусков;
- 5) последовательностью и содержанием операций технологического процесса и т.д.

Для придания поверхности детали специальных свойств применяются различные технологические методы. Целесообразность их выбора для конкретного изделия определяется в первую очередь необходимостью обеспечения оптимальной несущей способности.

### 1.10.2. КЛАССИФИКАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ПОВЕРХНОСТИ

I. *Методы упрочняющей обработки поверхности предназначены для:*

- а) улучшения физико-механических свойств;
- б) повышения твёрдости поверхностного слоя;
- в) снижения влияния концентраторов напряжения;
- г) повышения предела выносливости.

В результате обработки в поверхностном слое возникают деформационное упрочнение и остаточные напряжения (сжатия или растяжения).

Рассмотрим методы повышения качества поверхности.

1) Дробеструйное деформационное упрочнение – для деталей сложной формы. Повышает в 10 – 12 раз срок службы рессор, пружин.

2) Чеканка – для упрочнения частей ступенчатых валов, сварных швов, зубчатых колес и др.

3) Обкатывание (раскатывание) роликами и шариками. Дорнование и калибровка отверстий.

4) Обработка стальными щётками – упрочняется слой на глубину 0,04...0,06 мм. Высотные параметры  $R_a$ ,  $R_z$ ,  $R_{max}$  снижаются в 2 – 4 раза.

5) Гидроабразивная обработка. Недостаток – малая глубина наклёпа.

6) Выглаживание алмазным инструментом. Увеличивается в 2 – 4 раза опорная поверхность при той же шероховатости, что и у шлифования, полирования, суперфиниширования (инструмент – алмаз, сапфир, корунд).

7) Электромеханическая обработка (ЭМО), анодно-механическая и др.

8) Упрочнение взрывом (пустотелые валы, сварные соединения, лопатки турбин и др.)

9) Поверхностная закалка – для среднеуглеродистых и легированных сталей и чугунов  $S = 1,5...2$  мм.

Нагрев – ТВЧ.

10) Химико-термическая обработка (цементация, азотирование, цианирование, нитроцементация, борирование и т.д.); т.е. насыщение поверхности различными химическими элементами одновременно с термическим воздействием на него.

11) Наплавка и напыление металлов – на поверхности появляются растягивающие напряжения, что несколько снижает предел выносливости.

12) Электроискровое легирование. (Анод – легирующий материал, катод – легируемая поверхность).

Преимущества:

- 1) прочное сцепление с диффузией легирующего материала;
- 2) легирование в строго указанных местах радиусам от 0,5 мм и более;
- 3) отсутствие термического воздействия на слой основного металла.

2. *Методы повышения коррозионной стойкости поверхностей.*

I. Легирование материалов – добавление в сплавы специальных элементов (хром, алюминий, никель и т.д.).

II. Нанесение на поверхность покрытий:

- а) металлических (цинковое, хромовое, никелевое, кадмиевое);
- б) неметаллических (неорганических) – анодирование, оксидирование, воронение;
- в) неметаллических (органических) – лакировочные, пластмассовые, резиновые, битумные;
- г) смазка.

III. *Специальные методы:*

1) Вибрационное обкатывание – микрорельеф создаётся за счёт вдавливания инструмента, при этом рисунок микрорельефа становится рассматриваемым.



2) Применение инструментов из алмаза или эльбора – позволяет создавать поверхности с оптимальной микрогеометрией, увеличивая контактную жёсткость.

3) Электрохимические и электрофизические методы.

Методы электрической обработки, при которых достигаются заданных размеров, включают: электроэрозионные, электрохимические, комбинированные.

Электроэрозионная обработка основана на создании электроцепи, в которую входит обрабатываемая заготовка (как анод) и режущий инструмент – электрод (как катод). При сближении происходит искровой разряд, разрушающий в большей мере анод. Ток накапливается в магазине ёмкостей (конденсаторах). Деталь помещается в ванну с керосином или маслом. В этой среде происходит более быстрое разрушение анода, а также лучшее распыление частиц расплавленного металла. Форма углубления в аноде зависит от формы поперечного сечения катода (обычно латунного), которому придаётся автоматическая подача для поддержания постоянного расстояния между заготовкой и электродом. Этим методом производят в основном отверстия в металлах любой твёрдости, обеспечивая достижение шероховатости  $R_a = 2,5 \dots 1,25$  мкм. Способ малопродуктивный.

Электроимпульсная обработка сходна с предыдущим способом, но производительность её больше  $\approx$  в 10 раз. Это достигается за счёт увеличения продолжительности импульса и уменьшения промежутка между ними, т.е. образуется как бы прерывистая дуга. В электроцепь вводят машинные генераторы вместо конденсаторов. Анодом служит инструмент, катодом – обрабатываемая заготовка.

Электрохимическая обработка применяется как вид электрополирования. Заготовка в качестве анода помещается в электролитическую ванну через которую пропускают постоянный ток. В первую очередь растворению подвергаются выступы микронеровностей. В результате поверхность сглаживается, т.е. полируется. Конечная шероховатость зависит от предшествующей обработки, улучшая её в 1,5 – 2 раза до  $R_a \approx 0,32$  мкм.

Электрохимическая обработка производится при резании поверхности. Поверхность перед режущей кромкой нагревают электротокком, улучшая условия резания.

Комбинированная или анодно-механическая обработка применяется для резания металлов и при заточке инструмента. Заготовка служит анодом в цепи постоянного тока, а инструмент – катодом. К месту обработки подают электролит (жидкое стекло, разбавленное водой).

Абразивно-жидкостное полирование основано на воздействии струи жидкости, выбрасываемой из сопла под давлением  $400 \text{ кН/м}^2$  сжатым воздухом. В жидкости во взвешенном состоянии находятся абразивные зерна. Обработку ведут несколько минут, достигая шероховатость  $R_a \approx 0,64 \dots 32$  мкм. Способ применим для полирования сложных поверхностей.

Ультразвуковая обработка используется в основном для образования отверстий любой формы в материалах любой твёрдости независимо от электропроводности. Инструмент в виде стержня с формой сечения необходимого профиля слегка прижимается к обрабатываемой поверхности. Ему сообщаются колебания высокой частоты в осевом направлении. В зону обработки вводится жидкость со взвешенными частицами абразива. Способ применяется главным образом для обработки неметаллических материалов: стекла, кварца (даже алмаза).

Способ окончательной обработки поверхности зависит от технических требований, предъявляемых к готовой детали. С учётом этих требований окончательным способом обработки может быть черновая, чистовая или финишная обработка.

Черновая обработка точением, фрезерованием, сверлением заканчивается изготовлением поверхностей с  $R_a \approx 80 \dots 20$  мкм и точностью JT 11 – 14.

Чистовая обработка точением, фрезерованием, зенкерованием, развертыванием, шлифованием заканчивается JT 6 – 9;  $R_a \approx 1,25$  мкм.

Финишная (шлифование, финиширование, хонингование, полирование, притирка, выглаживание, накатывание) позволяет обеспечить  $R_a$  1,25 мкм и менее; JT5. Качество поверхности, получаемое после соответствующего способа обработки, приводится в таблицах.

Следует отметить, что прямой связи между точностью размера (JT) и шероховатостью поверхности нет, так как к самым неточным поверхностям по допуску могут быть предъявлены высокие требования к шероховатости (например, ручка хирургических инструментов).

Однако, уже выбор технологического способа изготовления, обеспечивающего заданную точность приводит к формированию определённой шероховатости. Числовые данные о шероховатости в зависимости от качества точности приводятся в справочной литературе.

## 2. ОСНОВЫ ПОСТРОЕНИЯ И РАСЧЁТОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

### 2.1. ПОНЯТИЕ ОБ ИЗДЕЛИИ, ПРОИЗВОДСТВЕННОМ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМ ПРОЦЕССАХ

Изделие – предмет производства, подлежащий изготовлению на предприятии.

Изделия делятся на две группы:

а) не специфицированные – не имеющие составных частей (детали).

б) специфицированные – состоящие из двух и более составных частей (сборочные единицы, комплексы, комплекты).

*Деталь* – изделие, изготовленное из однородного материала без применения сборочных операций.

*Сборочная единица* – изделие, составные части которого подлежат соединению между собой (свинчивание, сварка, клёпка, пайка, склеивание и т.д.).

*Комплекс* – два или более специфицированных изделия, не соединённых на предприятии-изготовителе сборочными операциями, но предназначенных для выполнения взаимосвязанных эксплуатационных функций (бурильная установка, цех-автомат и т.д.).

*Комплект* – набор изделий, имеющих общее эксплуатационное назначение вспомогательного характера (комплект инструмента, комплекты запасных частей и т.д.).

*Производственный процесс* – совокупность взаимосвязанных действий, в результате которых исходные материалы и полуфабрикаты превращаются в готовые изделия, соответствующие своему служебному назначению. Он охватывает: подготовку средств производства; обслуживание рабочих мест, все стадии изготовления изделия; сборку; внутризаводскую транспортировку, технический контроль; складские операции; упаковку и др.

*Технологический процесс* – часть производственного процесса, непосредственно связанная с последовательным изменением состояния объекта. Различают технологические процессы выполнения заготовок, термической обработки, механической обработки, сборки. В технологических процессах заготовительного характера происходит превращение исходного материала в заготовки деталей машин заданных размеров и конфигурации путём литья, резки проката, обработки давлением. Могут быть и комбинированные методы. В процессе термообработки происходят структурные превращения, изменяющие свойства материала детали. Под технологическим процессом механической обработки понимают изменения заготовки до изделия. Технологический процесс сборки – последовательное соединение элементов изделия в узлы (узловая сборка) и последующая сборка узлов и деталей в изделие (общая сборка).

Технологический процесс выполняется на рабочем месте.

*Рабочее место* – участок производственной площади, оборудованный в соответствии с выполняемой на нём работой. Технологический процесс расчленяется на операции.

*Операция* – законченная часть технологического процесса, выполняемая на одном рабочем месте, одним или группой исполнителей непрерывно (до перехода к следующей заготовке).

Пример: сверление плюс растачивание на одном токарно-винторезном станке разными инструментами – одна операция. Растачивание на токарно-винторезном, а сверление – на сверлильном – две операции.

Технологическая операция содержит нижеприведённые элементы.

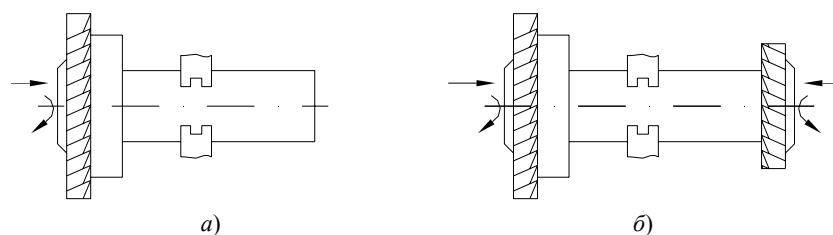
*Установ* – часть технологической операции, выполняемая при неизменном закреплении обрабатываемых заготовок или собираемой сборочной единицы (рис. 25).

При обработке заготовка может изменять положение относительно узлов станка при помощи поворотных устройств (делительных головок и т.д.), т.е. занимать различные позиции.

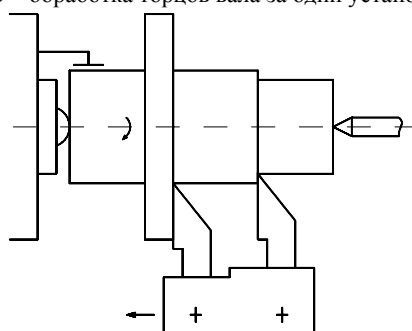
*Позиция* – фиксированное положение, занимаемое закреплённой заготовкой или собираемым узлом относительно инструмента или неподвижной части оборудования при выполнении определённой части операции.

Пр и м е р: При обработке на револьверном станке каждое новое положение револьверной головки с инструментом считается позицией.

*Технологический переход* – законченная часть технологической операции, характеризуемая постоянством применяемого инструмента и поверхностей, образуемых обработкой или соединяемых при сборке, и постоянством режима работы.



**Рис. 25. Фрезерование торцов:**  
*a* – обработка торцов вала за два установа;  
*б* – обработка торцов вала за один установ



**Рис. 26. Обработка цилиндрических поверхностей вала за один переход**

**Пр и м е р:** Последовательное точение резцом сначала одной ступени вала, а потом другой будет состоять из двух переходов, а если выполнять обточку этих ступеней одновременно двумя резцами, то это будет обтачивание за один переход (рис. 26). Черновая и чистовая обработка также производится в два перехода, так как меняются режимы резания (подачи, скорость шпинделя, глубина резания).

*Вспомогательный переход* – законченная часть технологической операции, состоящая из действий человека и оборудования, которые не сопровождаются изменением формы, размеров и шероховатости поверхностей.

**Пр и м е р:** установка и снятие заготовки, замена инструмента, его установка, контрольный промер и т.д.

Переход состоит из рабочих и вспомогательных ходов.

*Рабочий ход* – законченная часть технологического перехода, состоящая из однократного перемещения инструмента относительно заготовки и сопровождаемая изменением размеров, шероховатости или свойств заготовки.

*Вспомогательный ход* – законченная часть перехода, состоящая из однократного перемещения инструмента относительно заготовки, не сопровождаемая изменением формы, размеров, шероховатости или свойств заготовки, но необходимая для выполнения рабочего хода, например: перемещение суппорта токарного станка в исходное положение после выполнения обточки (то же для строгального станка).

## 2.2. НОРМА ВРЕМЕНИ, ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ СЕБЕСТОИМОСТЬ ИЗДЕЛИЯ

Трудоёмкость и себестоимость выполнения технологических операций является критериями эффективности технологического процесса. Трудоёмкость определяется на основе технологических норм.

*Норма времени* – время, необходимое для выполнения операции в определённых организационно-технологических условиях, наиболее рациональных для данного производства.

*Технически обоснованная норма времени* – время, необходимое для выполнения операции в определённых организационно-технических условиях наиболее рациональных для данного производства.

*Техническая норма выработки* – величина, обратная норме времени, выражающая количество изделий, выпускаемых в единицу времени.

Имеется *три метода* установления норм:

- 1) на основе изучения затрат рабочего времени *наблюдением*;
- 2) по нормативам (на отдельные элементы операции);
- 3) сравнением и расчётом по *типовым* нормам.

Методы 1 и 2 – используются при серийном и массовом производстве, 3 – в мелкосерийном и единичном производстве.

*Штучное время*  $t_{ш}$  – норма времени на выполнение операций по обработке *одной* детали или сборочной единицы.

$$t_{ш} = t_o + t_b + t_r + t_{орг} + t_{п},$$

$t_0$  – основное (технологическое) время;  $t_b$  – вспомогательное время;  $t_t$  – время технического обслуживания рабочего места;  $t_{орг}$  – время организационного обслуживания рабочего места;  $t_{п}$  – время перерывов.

Время  $t_0$  – затрачивается непосредственно на изменение размеров, формы и т.д. детали или присоединение при сборке.

$$t_0 = \frac{l_p i}{S_M},$$

где  $l_p$  – расчётная длина, мм (длина хода в направлении подачи);  $i$  – число рабочих ходов инструмента;  $S_M$  – минутная подача инструмента мм/мин.

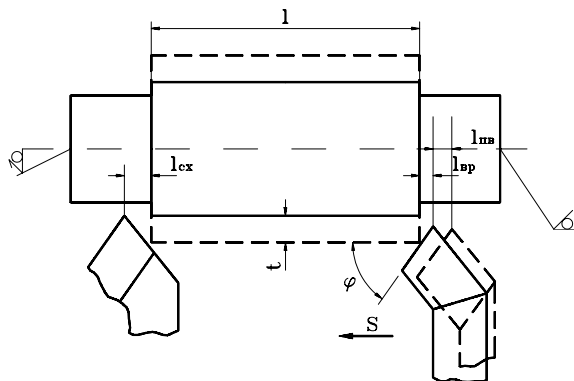


Рис. 27. Схема определения расчётной длины

Пример:

а) при ручном подводе (рис. 27)

$$l'_p = l + l_{вп} + l_{сх},$$

где  $l$  – длина обработки;  $l_{вп}$  – путь врезания;  $l_{сх}$  – путь схода.

б) при автоматическом цикле обработки (рис. 28)

$$l_p = l'_p + l_{пв},$$

где  $l_{пв}$  – путь подвода инструмента, для предупреждения удара в начале резания.

Значение  $l_{вп}$ ,  $l_{сх}$ ,  $l_{пв}$  – определяют по справочным данным ( $l_{сх}$  и  $l_{пв} \approx 1$  мм).  $l_{вп}$  определяется из геометрических соображений.

Пример:

1) при продольном сечении

$$l_{вп} = t \cdot \operatorname{ctg} \varphi;$$

2) при фрезеровании паза

$$l_{вп} = \sqrt{t(d-t)},$$

где  $t$  – глубина резания;  $d$  – диаметр резцы.

Время  $t_b$  – затрачивается на действие, сопровождающее выполнение основной работы (закрепление, снятие заготовки или собираемого узла, пуск и остановку станка, переключение режимов обработки и т.д.);  $t_b < 5\% t_0$ .

Сумма основного и вспомогательного времени – оперативное время:

$$t_{оп} = t_0 + t_b,$$

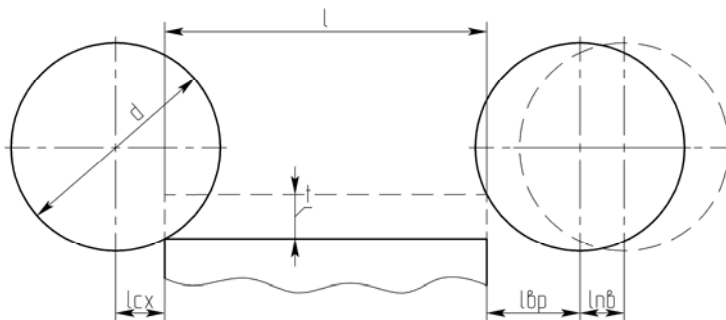


Рис. 28. Схема определения расчётной длины при фрезеровании

где  $t_T$  – время технического обслуживания, затрачивается на смену инструмента, его правку, регулировку и подналадку станка и другие действия, связанные с уходом за рабочим местом *при выполнении заданной работы*;  $t_{орг}$  – время организационного обслуживания, включает: затраты на уход за рабочим местом *в течении смены* (смазка и чистка механизмов, раскладка и уборка инструмента, уборка рабочего места);  $t_T$  и  $t_{орг}$  – определяют по нормативам  $\approx (4...8\%) t_{оп}$ ;  $t_{п}$  – время перерывов (на отдых, личные надобности),  $t_{п} \approx 2,5\% t_{оп}$ .

При изготовления изделий партиями (серийное производство) учитывают также подготовительно-заключительное время  $t_{п.з}$ .

В него входят: получение задания, ознакомление с работой, наладка оборудования, сдача работы, установка и снятие специальных приспособлений (их наладка) и не зависит от размера партии.

В единичном производстве  $t_{п.з}$  учитывается при расчёте штучного времени, а в *массовом не учитывается* вообще.

Штучное и подготовительно-заключительное время образуют норму *штучно-калькуляционного времени*  $t_{ш.к}$

$$t_{ш.к} = t_{п.з} / n + t_{ш},$$

где  $n$  – число деталей в партии.

На основе норм времени определяют расценки операций, количество оборудования, осуществляют планирование производственного процесса.

*Технологическая себестоимость* операции механической обработки  $C_0$  является основным критерием для установления наиболее экономичного технологического процесса обработки изделия

$$C_0 = \frac{C_{п.з} T_{ш.к} (шт.)}{60K_B},$$

где  $T_{ш.т} (шт.)$  – штучно-калькуляционное или штучное время на операцию (мин.);  $K_B$  – коэффициент выполнения норм (обычно  $K_B = 1,3$ );  $C_{п.з}$  – часовые приведённые затраты (р./ч).

$$C_{п.з} = C_3 + C_{ч.з} + E_n (K_c + K_3),$$

где  $C_3$  – основные и дополнительные затраты с начислениями, р./ч;  $C_{ч.з}$  – часовые затраты на эксплуатацию рабочего места, р./ч;  $E_n$  – нормативный коэффициент экономической эффективности (в машиностроении  $E_n = 0,15$ );  $K_c, K_3$  – удельные часовые капитальные вложения, соответственно в станок и здание, р./ч.

*Полная себестоимость* изготовления в изделие включает в себя также: стоимость материала заготовки, затраты на её подготовку к механической обработке, накладные расходы, объём партии и т.д.

### 2.3. ТИПЫ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫХ ПРОИЗВОДСТВ. СУЩНОСТЬ ПОТОЧНЫХ МЕТОДОВ ПРОИЗВОДСТВА

*Тип производства* – организационно-технологическая характеристика производственного процесса. В зависимости от объёма производственной программы и характера изготавливаемой продукции различают три основных типа производства: единичное, серийное, массовое. Следует отметить, что для пищевого машиностроения свойственна малая серийность при большой номенклатуре выпускаемых изделий, при сравнительно малом числе предприятий. Это вызывает загруженность каждого завода большой номенклатурой различного оборудования, не имеющего общих конструктивных и технологических признаков.

Тип производства характеризуется коэффициентом закрепления операции  $K_{з.о}$

$$K_{з.о} = \frac{O}{P},$$

где  $O$  – число различных операций;  $P$  – число рабочих мест.

Значения  $K_{з.о}$  принимаются для планового периода, равного одному месяцу. Например:

Тип производства	массовое	крупное серийное	среднее серийное	мелко-серийное	единичное
$K_{з.о}$	1,0	< 10	10.. 20	20...40	> 40

Единичное производство характеризуется:

- 1) широкой номенклатурой;

- 2) малым объёмом выпускаемых изделий;
- 3) применением универсального оборудования (с разбивкой на участки – токарный, фрезерный и т.д.);
- 4) высокой квалификацией рабочих;
- 5) высокой себестоимостью продукции.

В серийном производстве детали заготавливают партиями, а изделия сериями, повторяющимися через определённые промежутки времени.

Серийное производство характеризуется:

- 1) ограниченной номенклатурой изделий;
- 2) применением как универсального, так и специального оборудования, приспособлений, инструмента;
- 3) широким использованием УНП (универсальные наладочные приспособления), УСП (универсальные сборные приспособления), станков с ЧПУ;
- 4) оборудованием располагают как по типам станков, так и в последовательном ТП.

Массовое производство характеризуется:

- 1) узкой номенклатурой и большим объёмом выпуска изделий;
- 2) на каждом рабочем месте выполняется одна неизменно повторяющаяся операция;
- 3) оборудование располагается в последовательности выполнения операций;
- 4) широкое применение специализированного оборудования, средств комплексной механизации и автоматизации;
- 5) соблюдение принципов полной взаимозаменяемости.

Высшей формой массового производства является поточно-массовое, при этом время каждой операции равно или кратко времени всего потока (такта). Среднее значение такта выпуска (темпа) – промежуток, времени, через который с поточной линии выпускается единица продукции (мин/шт.),

$$t = \frac{60 \cdot FKm}{N},$$

где  $F$  – календарный фонд времени (ч) (при одной смене – 20...70 ч);  $K$  – коэффициент потерь времени на ремонт оборудования ( $K = 0,98...0,96$ );  $m$  – число рабочих смен;  $N$  – годовая программа выпуска.

Для операций, время выполнения которых не укладывается в такт выпуска, используют дополнительное оборудование.

Приведённое выше деление машиностроительного производства на типы условно, так как чёткую границу между ними установить невозможно. Ориентировочно тип производства можно определить по данным таблицы:

**Таблица**

Тип производства	Число обрабатываемых деталей (в год)		
	Крупных, большой трудоёмкости, массой более 30 кг	Средних размеров и трудоёмкости, массой 8...30 кг	Небольших, маленькой трудоёмкости, массой менее 8 кг
1. Единичное (инд.)	< 5	< 10	< 100
2. Мелкосерийное	5...100	10...100	100...500
3. Среднесерийное	100...300	200...500	500...5000
4. Крупносерийное	300...1000	500...5000	5000...50 000
5. Массовое	> 1000	> 5000	> 50 000

Тип производства выбирают исходя из заданной программы выпуска путём расчёта такта выпуска детали.

Для серийного производства определяют также размер экономически выгодной партии деталей одновременно используемой в производстве:

$$n = \frac{\sum t_{п.э}}{\sum t_{ш}},$$

где  $\sum t_{п.э}$  – сумма подготовительно-заключительного времени по операциям, мин;  $\sum t_{шт}$  – сумма штучного времени по операциям, мин;  $K$  – коэффициент, учитывающий потери времени на переналадку оборудования ( $K = 0,04$  – крупносерийное,  $K = 0,18$  – мелкосерийное).

Особенность химического машиностроения – разнообразный характер производства от индивидуального и мелкосерийного до средне- и крупносерийного. Преобладающим типом производства, однако, является мелкосерийное. Например, около 25 % наименований оборудования выпускается до 10 шт. в год, 43 % – от 10 до 100 шт., примерно 27 % – от 100 до 1000 шт. И только 5 % – более 1000 шт.

Малая серийность при большой номенклатуре выпускаемых изделий и небольшом числе предприятий приводит к загруженности каждого завода большей номенклатурой различного оборудования, не имеющего общих конструктивных и технологических признаков.

## 2.4. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ (ПТП)

### 2.4.1. ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА

При разработке технологических процессов в основу положены два принципа: технологический и экономический. Технический предполагает обеспечение выполнения всех требований рабочего чертежа и технических условий на обработку конкретного изделия. По экономическому принципу изготовление изделия проводится с минимальными затратами труда и издержками производства.

Таким образом технологический процесс изготовления должен выполняться с полным использованием технических возможностей средств производства при наименьших затратах времени, минимальной себестоимости.

Из нескольких возможных вариантов технологического процесса изготовления изделия, равноправных с точки зрения технического принципа, выбирают наиболее эффективный, производительный и рентабельный вариант. При равной производительности выбирают наиболее рентабельный, а при равной рентабельности – наиболее производительный. Выявление эффективности и рентабельности разрабатываемого процесса ведут по всем элементам, из которых они складываются, но иногда определяют расчётом по укрупнённым показателям (рис. 29).

Многообразие элементов, факторов, обуславливающих проектирование технологического процесса, затрудняет возможность создания общих правил построения. Однако, обобщая опыт промышленности, выделены некоторые положения, которые необходимо учитывать при проектировании технологических процессов.

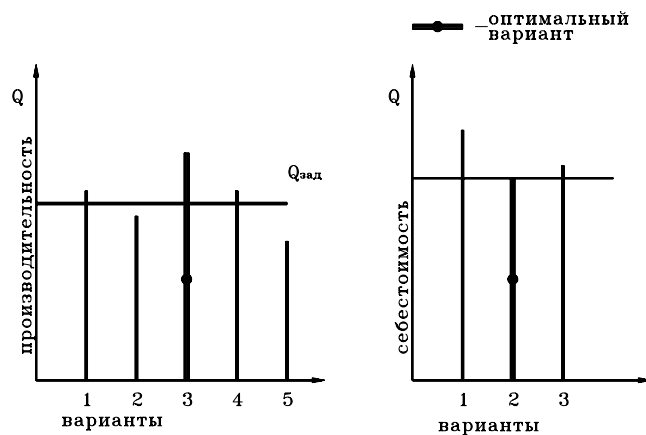


Рис. 29. Выбор оптимального варианта

1. Процесс должен обеспечивать выполнение требований к изделию при минимальных затратах и наибольшей производительности.
2. Первыми при механической обработке следует выполнять те операции, на которых удаляется наибольший припуск в связи с тем, что в этом случае перераспределяются напряжения, возникающие при изготовлении заготовок и происходит деформация в начале технологического процесса, которая на последующих операциях исправляется, т.е. достигается необходимая форма и точность. Так же при снятии значительного припуска могут быть выявлены дефекты металла заготовки и такую заготовку не пускают на дальнейшую обработку.
3. При механической обработке операции, при выполнении которой значительно уменьшается жёсткость детали, следует проводить после тех, в которых жёсткость уменьшается незначительно.
4. Рекомендуется выполнять черновую и чистовую обработку в различных операциях и на различных станках, так как в одной операции может быть затруднено достижение заданной точности.

Кроме названных положений, соблюдение которых желательно, существуют другие правила, например принцип размещения термообработки в технологическом процессе, принцип предпочтительной операции и др.

#### 2.4.2. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ

Исходными данными при разработке технологических процессов для новых заводов являются: рабочий чертёж (определяющий материал, конструктивные формы и размеры детали), технологические условия на изготовление (характеризуют точность, структуру, термообработку, балансировку и пр.); программа выпуска; срок выполнения.

Для действующих или реконструируемых заводов необходимы сведения о наличном оборудовании, площадях и других местных производственных условиях. При заданном виде исходной заготовки возможности технолога ограничиваются при проектировании. При разработке технологических процессов используют справочные и нормативные материалы: каталоги и паспорта оборудования и приспособлений; ГОСТ и нормативы на режущий инструмент и измерительные приборы, нормативы на точность, шероховатости, расчёты припусков, режимов резания и техническое нормирование времени; тарифно-квалификационные справочники; другие вспомогательные материалы.

При оформлении разработок данные заносятся в специальные бланки технической документации.

#### 2.4.3. АНАЛИЗ ЧЕРТЕЖА, ТЕХНИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ И СЛУЖЕБНОГО НАЗНАЧЕНИЯ ДЕТАЛИ

Подробное изучение рабочего чертежа, технических условий на изготовление и условий работы детали в изделии – всё это предшествует проектированию технологического процесса. Проверяется достаточность проекций, разрезов, правильность простановки размеров, изучаются требования на точность и шероховатость поверхностей и другие требования.

При завышенных классах точности и чистоты, усложняется технологический процесс изготовления и по согласованию с конструктором вводятся соответствующие коррективы. При контроле чертежа выявляются возможности улучшения технологичности конструкции детали. Например, возможно уменьшение размеров обрабатываемых поверхностей, что снижает трудоёмкость механической обработки; повышение жёсткости детали, что даёт возможность многоинструментальной обработки; облегчение подвода и отвода режущего инструмента, что уменьшает основное и вспомогательное время; унификацию размеров пазов, канавок, отверстий и других элементов, что сокращает номенклатуру размерных и профильных инструментов и уменьшает время обработки; обеспечение надёжности и удобства базирования заготовки; возможность совмещения установочных и измерительных баз; удобство многоместной обработки заготовок. При улучшении технологичности конструкции значительно снижается трудоёмкость и повышается рентабельность процессов механической обработки.

#### 2.4.4. РЕКОМЕНДАЦИИ СИСТЕМЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ ПРОИЗВОДСТВА

Проектирование технологических процессов отличается трудоёмкостью и характеризуется многовариантностью решений. Проектирование выполняют в нескольких стадиях. Вначале составляют предварительные наброски технологического процесса, далее их уточняют и конкретизируют на основе детальных технологических расчётов. Приемлемое решение принимают после разработки и сравнения нескольких технологических вариантов.

В условиях массового производства технологический процесс разрабатывают подробно для всех оригинальных деталей изделия. На нормализованные и стандартные детали используют типовые процессы. В единичном производстве ограничиваются сокращённой разработкой, так как подробная – экономически не оправдана. Исключение составляют сложные и дорогие детали (например, в тяжёлом машиностроении). В условиях серийного производства составляют групповые технологические процессы. На оригинальные детали разрабатывают индивидуальные процессы.

Процесс проектирования состоит из комплекса взаимосвязанных этапов, которые рекомендуется выполнять в определённой последовательности:

- 1) определение типа производства и методов работы;
- 2) выбор метода получения заготовки и установление предъявляемых к ней требований; выбор установочных баз;
- 3) выбор маршрута обработки отдельных поверхностей;
- 4) составление маршрута обработки детали в целом;
- 5) предварительная намётка операций; расчёт межоперационных припусков;
- 6) установление технологических допусков и предельных размеров заготовки по технологическим переходам;
- 7) уточнение содержания операций;
- 8) выбор оборудования, инструментов и приспособлений;



- 9) установление режимов резания;
- 10) выявление настроечных размеров;
- 11) уточнение схем установки, закрепления заготовки для разработки технического задания на конструирование приспособления;
- 12) установление норм времени и квалификации рабочих;
- 13) оформление технологической документации.

## 2.5. ЭТАПЫ ПОСТРОЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛИ

### 2.5.1. ВЫБОР МАРШРУТА ОБРАБОТКИ ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕТАЛИ

На начальной стадии разработки ТП составляют перечень технологических переходов, которые могут быть применены для достижения заданной чертежом точности и шероховатости. Учитывая, что каждому методу обработки соответствует определённое качество поверхности (R, IT), метод окончательной обработки (последнего перехода) подсказывается рабочим чертежом.

Вид (конфигурация) и точность заготовки облегчает определение первого технологического перехода, например:

а) в исходной заготовке есть отлитое отверстие – поэтому переход сверления отсутствует и обработка выполняется растачиванием или зенкерованием;

б) заготовка для гладкого вала – калиброванный прокат. Обтачивание не требуется – сразу шлифование.

Зная содержание первого и последнего переходов устанавливают промежуточные, при этом исходят из того, что каждому методу окончательной обработки предшествуют несколько предварительных (менее точных).

**Пример:** чистовому развёртыванию отверстия предшествует предварительное, а предварительному развёртыванию – чистовое зенкерование или сверление.

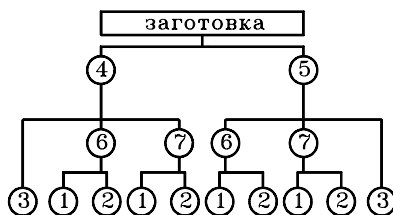
Число вариантов маршрута обработки может быть довольно большим. Выбор варианта производится приближённо, оценивая трудоёмкость по нормативным вариантам. Более точно маршрут обработки определяют при сравнении суммарной себестоимости обработки всего изделия (детали). Значительную помощь при этой работе может оказать ЭВМ.

**Пример (рис. 30):**

Заготовка – чугунная отливка с отверстием. Надо получить H8.

- |                           |   |                         |
|---------------------------|---|-------------------------|
| 4 – черновое зенкерование | } | начальная               |
| 5 – черновое растачивание |   | обработка               |
| 6 – чистовое зенкерование | } | промежуточная           |
| 7 – чистовое растачивание |   | обработка               |
| 1 – развёртывание         | } | окончательная обработка |
| 2 – тонкое растачивание   |   |                         |
| 3 – протягивание          |   |                         |

Всего возможно 10 вариантов маршрута.



**Рис. 30. Варианты маршрутов обработки отверстия**

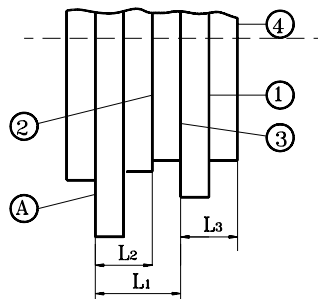
### 2.5.2. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО МАРШРУТА ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛИ

Цель составления технологического маршрута – дать общий план обработки детали, наметить содержание операций, выбрать тип оборудования. Задача сложная и многовариантная. При её решении следует руководствоваться следующей примерной схемой:

1. Рассматривают процесс изготовления как операции черновой, чистовой и отделочной обработки. Это позволяет:

- а) своевременно выявить дефекты материала уже на стадии черновой обработки (брак);
- б) увеличить разрыв времени между черновой и последующей обработкой для снижения влияния термических и механических остаточных деформаций в материале;

- в) снизить требования и квалификацию рабочих на начальных стадиях ТП;
- г) уменьшить риск случайного повреждения окончательно обработанных поверхностей.
2. Сначала обрабатывают установочные поверхности, затем остальные в последовательности, обратной точности. В конец маршрута выносят обработку легкоповреждаемых поверхностей, например резьбы.
3. Если деталь термообрабатывается, то маршрут расчлняют на две части: до и после термообработки. Это необходимо для устранения коробления.
4. В первую очередь необходимо обработать ту поверхность, относительно которой на чертеже координированы другие поверхности детали, например: сначала обрабатывают поверхность А, затем поверхность 3, а потом – остальные (рис. 31).
5. Вспомогательные операции и второстепенные (сверление местных отверстий, снятие фасок, прорезка канавок и т.п.) выполняют на стадии чистовой обработки.
6. Обработку зубьев колёс, нарезание шлицев, обработку пазов и т.д. выделяют как самостоятельные операции.
7. Необходимо учесть возможность объединения операций, выполняемых на одном станке.
8. Исходя из условий конкретного производства учитывают при составлении маршрута: наличие специализированных цехов, соответствие такту выпуска (массовое производство). Для тяжёлых заготовок предусматривают минимум перестановок.
9. Всемерно применять принципы типизации ТП.



**Рис. 31. Последовательность обработки поверхности детали**

В маршруте обработки указывают также операции контроля для своевременного предупреждения появления брака. Различают сплошные и выборочные контрольные операции. Методы контроля: пассивный и активный.

### 2.5.3. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОПЕРАЦИЙ

При разработке структуры операций механической обработки стремятся к наиболее экономическим вариантам.

С этой целью стремятся к перекрытию элементов основного  $t_0$  и вспомогательного  $t_v$  времени, тем самым уменьшая  $t_{шт}$  и, как следствие, повышая производительность процесса. Имеются следующие схемы построения операций, отличающиеся:

- а) числом одновременно устанавливаемых заготовок: одноместные и многоместные;
- б) числом участвующих в обработке инструментов: одноинструментальные и многоинструментальные;
- в) порядком использования инструментов – последовательная, параллельная и параллельно-последовательная.

Путём сочетания указанных схем достигают различных схем обработки.

Средства контроля выбирают исходя из их метрологических показателей и их соответствия требуемой точности изготавливаемого изделия, производительности контроля.

Погрешность контроля:

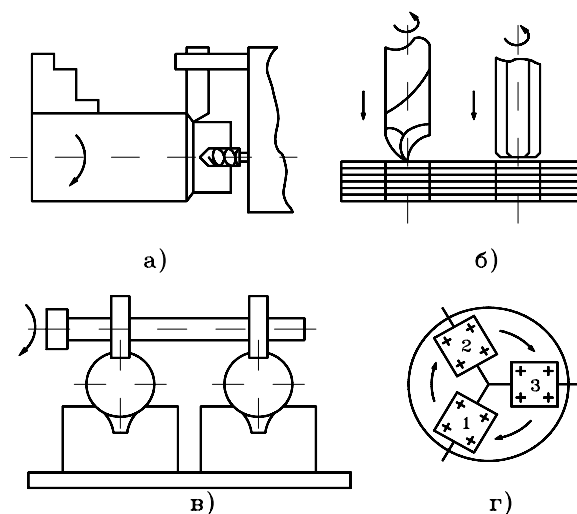
- ответственные детали  $0,08\delta_d$ ;
- менее ответственные детали  $0,12 \dots 0,2\delta_d$ ;
- неответственные детали  $0,30\delta_d$ .

Число контрольных операций выбирается из соображений минимального влияния на себестоимость при обеспечении минимума брака.

Выбор схемы построения операций в значительной степени зависит от программы выпуска, например: при единичном – одноместная, одноинструментальная, последовательная; при серийном, массовом – многоместная, многоинструментальная, параллельная или параллельно-последовательная.

Оценку эффективности построения операции производят по коэффициенту совмещения оперативного времени

$$K_0 = \frac{t_0 + t_B}{\sum_{i=1}^n t_{0i} + \sum_{i=1}^n t_{Bi}}$$



**Рис. 32. Схемы обработки различных деталей:**

*a* – одностая, параллельная, многоинструментальная (сверление + точение); *б* – многостая, многоинструментальная, последовательная (сверление + зенкерование, одновременно в 4-х заготовках); *в* – многостая, многоинструментальная, параллельная (фрезерование пазов одновременно в 2-х деталях); *г* – многостая, многоинструментальная, параллельно-последовательная (на токарно-многоспindleльном полуавтомате с круглым поворотным столом); 1 – загрузка и съём; 2 – одновременное сверление 4-х отверстий; 3 – одновременное зенкерование 4-х отверстий

где  $(t_0 + t_B)$  – основное и вспомогательное время;  $\left( \sum_{i=1}^n t_{0i} + \sum_{i=1}^n t_{Bi} \right)$  – сумма всех элементов основного и вспомогательного времени операции.

#### 2.5.4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРИПУСКОВ НА ОБРАБОТКУ

**Основные понятия.** Исходная заготовка отличается от детали тем, что на всех обрабатываемых поверхностях предусмотрены припуски – слои материала, подлежащие удалению с поверхности заготовки в процессе обработки для получения заданной точности и шероховатости. Материал, оставленный в выемках, пазах и отверстиях отливок и поковок образует напуск, также удаляемый при обработке. Напуском является также слой материала проката, превышающий размеры заготовки с учётом припуска на обработку. Напуск удаляют, как правило, в два прохода (60...70 % – первый; 40...30 % – второй).

Припуски разделяют на общие – удаляемые в течение всего процесса обработки и межоперационные (промежуточные), удаляемые при выполнении отдельных операций. Межоперационный припуск определяется разностью размеров заготовки, полученных на смежных предшествующем и выполняемом переходах.

*Общий припуск* равен сумме межоперационных припусков по всем технологическим операциям.

Припуски могут быть симметричными (для тел вращения) и асимметричными – (призматические детали).

Различают номинальный, минимальный и максимальный припуск.

*Минимальный припуск*, т.е. наименьший слой металла, снимаемый при обработке, есть разность между наименьшим размером заготовки и наименьшим размером после выполнения данного перехода. Максимальный припуск равен номинальному припуску минус допуск на выполнение данного перехода.

*Номинальный припуск* – разность между номинальными размерами поверхности после предшествовавшего и после данного перехода.

*Максимальный припуск* есть разность между наименьшим размером поверхности после выполнения предшествовавшего перехода и наименьшим её размером после выполнения данного перехода.

Существуют нормативные данные, суммируя которые можно получить величину минимального припуска. Имеются так же ГОСТ на значения общих припусков на обработку отливок и поковок. При оценке величины общего припуска учитываются факторы:

- 1) размер и конструктивные формы;
- 2) материал и способ получения заготовки;
- 3) величина дефектного слоя;
- 4) погрешность установки;

5) степень деформации.

Важно, чтобы припуски на обработку были возможно меньшими в целях экономии металла, времени и т.д. Для этого, чтобы ограничить значения промежуточных припусков, назначают технологические допуски на отдельные переходы.

Обычно технологические промежуточные допуски на охватываемую поверхность (шейка вала) назначают в минус, а на охватывающую (отверстия) – в плюс. В любом случае промежуточный допуск направлен в тело металла.

Минимальный припуск – минимальная необходимая толщина слоя материала для выполнения данной операции. Он является исходной величиной при расчёте припусков.

Припуски на обработку определяются двумя методами:

1) опытно-статистический – при котором значения общих и промежуточных припусков определяют по справочным таблицам, составленным на основе обобщения производственного опыта. Недостаток метода – нет учёта конкретных условий построения ТП. Полученные припуски, как правило, завышены, так как ориентируются на полное отсутствие брака;

2) расчётно-аналитический метод (профессор В.М. Кован), согласно которому промежуточный припуск должен быть таким, чтобы при его снятии устранялись погрешности обработки и дефекты поверхностного слоя, полученные на предшествующем переходе, а так же погрешности установки на данном переходе.

Основа метода – определение  $Z_{\min}$ .

### 2.5.5. ФАКТОРЫ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ МИНИМАЛЬНЫЙ ПРИПУСК

Величину минимального промежуточного припуска определяют следующие факторы:

1. *Высота неровностей*  $R_{z\ i-1}$ , полученная на смежном предшествующем переходе. Зависит от условий этого перехода (режим резания, метод резания и т.д.) (рис. 33, а).

2. *Состояние и глубина*  $T_{i-1}$  поверхностного (дефектного) слоя – дефекты, полученные так же на смежном предшествующем переходе, подлежащие частичному (после поверхностной закалки) или чаще полному удалению. У отливок состоит из перлитной корки с включением формовочного песка и т.д. У стальных поковок – это обезуглероженный слой (рис. 33, а).

3. *Пространственное отклонение*  $\rho_{i-1}$  расположения обрабатываемой поверхности относительно базовой. Например: несоосность наружной (базовой) поверхности и растачиваемого отверстия; неперпендикулярность торцевой плоскости оси базовой цилиндрической поверхности; нецилиндричность обрабатываемой поверхности относительно базовой оси (рис. 33, б).

4. *Погрешность установки*  $\varepsilon_i$ , возникающая на выполняемом переходе, за счёт нестабильности положения обрабатываемой поверхности вследствие её смещения. Это смещение возникает при закреплении заготовки из-за неточностей установочных элементов приспособления и других причин (рис. 33, в).

Общая величина минимального припуска определяется суммированием указанных выше величин  $R_{z\ i-1}$ ,  $T_{i-1}$ ,  $\rho_{i-1}$ ,  $\varepsilon_i$ . Учитывая, что  $\rho_{i-1}$ ,  $\varepsilon_i$  векторные величины, в случае цилиндрических заготовок их суммирование производят по правилу квадратного корня.

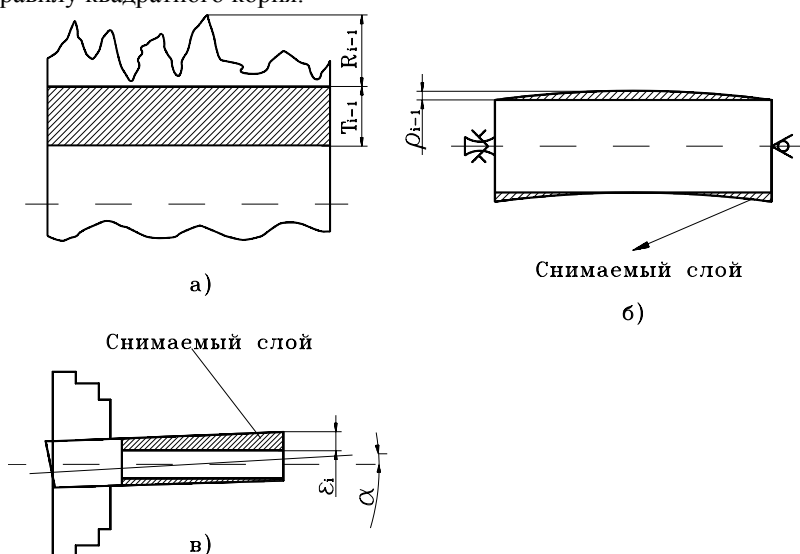


Рис. 33. Составляющие элементы операционного припуска

Таким образом, получены следующие зависимости для определения  $Z_{\min}$  :

а) обработка плоских поверхностей

$$Z_{i\min} = (R_{z\ i-1} + T_{i-1}) + (\rho_{i-1} + \varepsilon_i) ;$$

б) обработка тел вращения

$$2Z_{i\min} = 2[(R_{z\ i-1} + T_{i-1}) + \sqrt{\rho_{i-1}^2 + \varepsilon_i^2}] .$$

На базе указанных зависимостей могут быть получены формулы для конкретных случаев. При развёртывании плавающей развёрткой и протачиванием

$$2Z_{i\min} = 2(R_{z\ i-1} + T_{i-1}) .$$

При суперфинише и полировании

$$2Z_{i\min} = 2R_{z\ i-1} .$$

Следует отметить, что при обработке цилиндрической заготовки в центрах  $\varepsilon_i$  не учитывается.

### 2.5.6. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОМЕЖУТОЧНЫХ И ИСХОДНЫХ РАЗМЕРОВ ЗАГОТОВКИ

Для определения размеров заготовки, значений операционных припусков воспользуемся методом графического построения (рис. 34).

Для однопроходной обработки вала: построение схемы операционных допусков и припусков начинают прибавлением  $Z_{\min}$  к максимальному размеру детали  $d_{\max}$ . Получаем минимальный размер заготовки  $D_{\min}$ , прибавляя к которому значение технологического допуска на заготовку  $\delta_{\text{заг}}$ , получаем максимальный размер заготовки  $D_{\max}$ .

Таким образом:

$$Z_{\min} = D_{\min} - d_{\max} ;$$

$$Z_{\max} = D_{\max} - d_{\min} ;$$

$$Z_{\text{ном}} = D_{\max} - d_{\max} ;$$

$$Z_{\max} = Z_{\text{ном}} + \delta_{\text{д}} .$$

Для многопроходной обработки процедура определения составляющих общего технологического припуска аналогична. Следует отметить, что рассмотренная схема построения полей припусков и допусков справедлива при индивидуальной настройке станка на изготавливаемую деталь.

При обработке на предварительно настроенных на размер станках в результате упругих отжатий элементов СПИД возникают явления копирования, т.е. при обработке заготовки с наименьшим предельным размером  $D_{\min}$  выдерживаемый размер получается наименьшим  $d_{\min}$ . При обработке заготовки с наибольшим предельным размером  $D_{\max}$  выдерживаемый размер получается наибольшим  $d_{\max}$ .

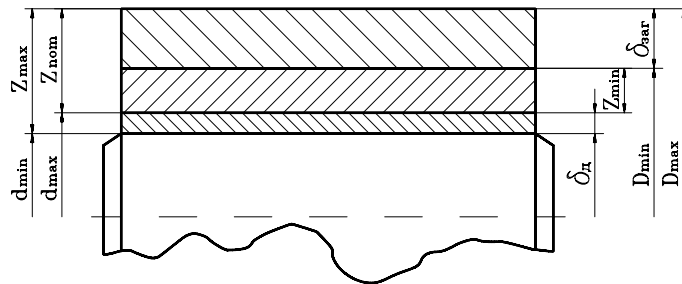


Рис. 34. Схема распределения припусков и допусков при индивидуальной настройке станка

В этом случае:

$$Z_{\min} = D_{\min} - d_{\min} ,$$

$$Z_{\max} = D_{\max} - d_{\max} .$$

Так как

$$D_{\max} = D_{\min} + \delta_{\text{заг}} ,$$

а

$$d_{\max} = d_{\min} + \delta_d,$$

тогда

$$Z_{\max} = D_{\min} + \delta_{\text{зар}} - \delta_d - d_{\min},$$

$$Z_{\max} = Z_{\min} + \delta_{\text{зар}} - \delta_d.$$

Схема расположения полей припусков и допусков и таком случае будет выглядеть следующим образом (рис. 35).

При выполнении контрольной или курсовой работы определение составляющих общего припуска приводят для одной самой точной поверхности.

Пример: определить припуски, предельные и промежуточные размеры заготовки при обработке шейки вала  $50_{-0,05}$   $R_a = 0,63$  на предварительно настроенном станке. Заготовка – штамповка. Материал – сталь 10 (рис. 36).

Маршрут обработки.

1. Предварительное точение.
2. Чистовое точение.
3. Предварительное шлифование.
4. Чистовое шлифование.

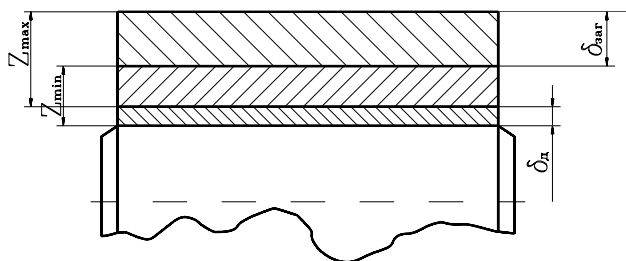


Рис. 35. Схема распределения припусков и допусков на предварительно настроенном станке

### Карта расчёта припусков

Маршрут обработки	Элементы минимального припуска, мкм				Расчётный минимальный припуск $Z_i^{\min}$ , мкм	Расчётный минимальный припуск заготовки	Допуск на промежуточные размеры	Размеры заготовки по переходам		Предельные значения припусков	
	$R_{i-1}$	$T_{i-1}$	$\rho_{i-1}$	$\epsilon_i$				наибольшие	наименьшие	$Z_{\max i}$	$Z_{\min i}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Штамповка	–	–	–	–	–	–	2000	55,50*	53,50*	–	–
Точение:											
предварительное	200	300	700	200	2800	53,39	500	51,10*	50,60*	4400	2900
чистовое	50	55	75	15	390	50,59	150	50,35	50,20	750	400
Шлифование:											
предварительное	25	35	15	5	160	50,20	100	50,14	50,04	210	160
чистовое	15	25	5	–	90	50,04	50	50,00	49,95	140	90

\* – скорректированное значение.

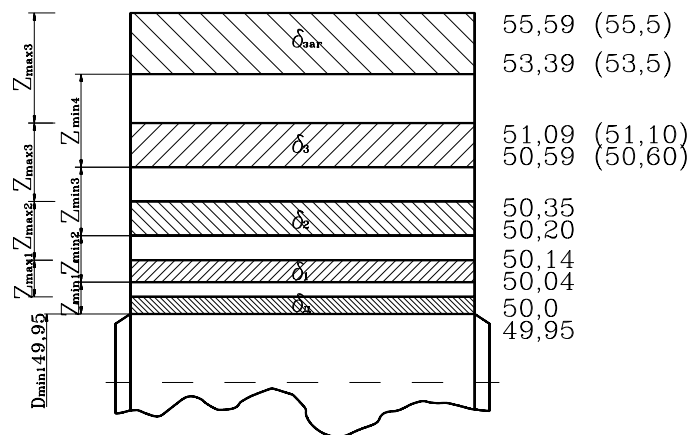


Рис. 36. Схема распределения припусков по данным

1. Составляем карту расчёта припусков.
2. Заносим в графу 1 маршрут обработки: 1 строка – заготовительная операция и т.д.
3. Графы 2 – 5 – по справочным данным.
4. Графу 6 получаем путём суммирования и удвоения граф 2 – 5 ( $Z_{\min i}$ ).
5. Расчётный наименьший размер заготовки графы 7 получаем путём последовательного прибавления к минимальному размеру готовой детали (49, 95) соответствующих величин расчётных минимальных припусков  $Z_{\min i}$ .
6. Графу 8 – допуски на промежуточные размеры определяем по табличным данным.
7. Графа 10 – заполняется по данным графы 7 с округлением в большую сторону.
8. Графа 9 – заполняется суммированием значений графы 10 и 8.
9. Графа 12 – по данным графы 6 с округлением.
10. Графа 11 – заполняется анализом карты или по формуле:

$$Z_{\max} = Z_{\min} + \delta_{\text{заг}} - \delta_{\text{д}} = 90 + 100 - 50 = 140 \text{ мкм (чистовое точение).}$$

11. Общий номинальный припуск:

$$Z_{\text{оном}} = Z_{\text{о min}} + H_{\text{з}} - H_{\text{д}} = 3550 + 1000 - 50 = 4500 \text{ мкм,}$$

$H_{\text{з}}$  – нижнее предельное отклонение заготовки;  $H_{\text{д}}$  – нижнее предельное отклонение детали.

Проверка:

$$Z_{\text{о max}} - Z_{\text{о min}} = \delta_{\text{заг}} - \delta_{\text{д}},$$

$$5500 - 3550 = 2000 - 50; \quad 1950 = 1950.$$

По наибольшему припуску  $Z_{\text{о max}}$  определяют максимальную силу резания. По среднему значению припуска  $Z_{\text{о ср}} = (Z_{\text{о max}} + Z_{\text{о min}}) / 2$  определяют стойкость режущего инструмента. По номинальному значению припуска  $Z_{\text{о ном}}$  определяют размеры заготовки, по которым изготавливают технологическую оснастку (штампы, пресс-формы и т.д.). По минимальному значению припуска определяют непосредственные размеры заготовок для деталей.

При использовании проката

$$D_{\text{заг min}} = d_{\text{дет min}} + 2Z_{\text{о min}}.$$

Полученный размер округляют в большую сторону до ближайшего по сортаменту  $D'_{\text{заг min}}$ . Тогда действительный общий припуск на обработку будет

$$2Z'_{\text{о min}} = D'_{\text{заг min}} - d_{\text{дет min}}.$$

Размеры для заготовок других видов получают с учётом технологических условий их изготовления (штамповочные уклоны, радиусы литых заготовок и др.).

### 2.5.7. ВЫБОР ОБОРУДОВАНИЯ, ПРИСПОСОБЛЕНИЙ, ИНСТРУМЕНТОВ

Металлорежущие станки с технологических позиций классифицируют на:

- 1) станки общего назначения, т.е. с наибольшими технологическими возможностями (горизонтально и вертикально фрезерные, токарно-винторезные, вертикально-радиально сверлильные);
- 2) станки повышенной производительности. У этой группы возможности ограничены по технологическому принципу (продольно-фрезерные, токарные полуавтоматы, безцентрошлифовальные и т.д.);
- 3) станки определённого назначения, т.е. станки на определённую технологическую операцию (станки для нарезания цилиндрических или конических зубчатых колес и т.д.);
- 4) специализированные – любой из первых трёх групп, но приспособленный на одну технологическую операцию в массовом производстве (изменен угол наклона шпинделя и т.д.);
- 5) агрегатные станки, многшпиндельные (сверление, фрезерование, растачивание отверстий в корпусах и т.д.);
- 6) специальные – конструируются по особому заказу в единичном экземпляре, для определённой технологической операции на определённой заготовке.

При выборе оборудования следует учитывать следующие факторы:

- 1) соответствие рабочей зоны станка габаритам детали, например: диаметр заготовки над станиной; расстояний между центрами; диаметр заготовки над суппортом и т.д. – для токарно-винторезных станков, расстояние от торца шпинделя до стола – для сверлильных станков и т.д.;
- 2) возможность достижения требуемой точности и шероховатости;
- 3) соответствие мощности, жёсткости и кинематических данных наилучшим режимам выполнения операции;
- 4) обеспечение требуемой производительности в соответствии с заданной программой;
- 5) соответствие техники безопасности и промышленной санитарии;
- 6) соответствие оборудования заданной программе по критерию себестоимости.

Окончательный выбор оборудования из ряда приемлемых осуществляется по данным экономических расчётов.

Выбор приспособлений зависит в основном от программы выпуска:

- единичное, мелкосерийное – универсальные приспособления (тиски, кулачковые патроны, делительные головки и т.д.);
- серийное – универсальные, переналаживаемые;
- массовое – специальные приспособления.

Выбор режущего инструмента ориентируется на стандартный инструмент, с учётом метода обработки, материала детали, размера и конфигурации, качества поверхности, программы выпуска.

Выбор измерительных средств определяется в первую очередь соответствием требуемой точности изготавливаемой детали.

- единичное, мелкосерийное – универсальные инструменты (микрометры, штангенциркули, нутромеры, индикаторы и т.д.).
- серийное, массовое – калибры, шаблоны, автоматические измерительные средства.

### 2.5.8. РАСЧЁТ РЕЖИМА РЕЗАНИЯ

От правильного выбора режимов резания зависит качество поверхности, точность, производительность обработки.

Параметры режимов резания рассчитывают в следующем порядке:

I. Назначают глубину резания  $t$ . Глубина резания  $t$  – расстояние между обрабатываемой и обработанной поверхностью, измеренное в перпендикулярном направлении к последней, в мм. Глубину  $t$  выбирают из того, как выгоднее работать с возможно меньшим числом проходов:

- а) при черновом точении  $t$  определяется величиной операционного пропуска  $z_{0i}$ , который снимают за один проход;
- б) при чистовом точении  $t$  определяется заданной точностью и шероховатостью.

Рекомендации:

- 1) до  $Ra > 2,5$  мкм  $t = 0,5...2$  мм;
- 2) при  $Ra < 2,5$  мкм  $t = 0,1...0,4$  мм.

II. Назначают подачу  $S$ . Подача  $S$  – величина перемещения инструмента относительно обрабатываемой детали или этой детали относительно инструмента в направлении движения подачи за определённый промежуток времени (за один оборот детали или инструмента, за один рабочий ход инструмента и т.д.).

Измеряется в мм/мин, мм/об, мм/зуб. Подача может быть продольной – вдоль оси обрабатываемой детали, поперечной – поперек этой оси, наклонённой под углом к этой оси, вертикальной или круговой.

Подача также выбирается максимальной, для уменьшения технологического времени. Подачу  $S$  назначают максимально допустимую, в зависимости от: материала, жёсткости, СПИД, глубины резания, размеров де-



тали. При чистовой обработке подача определяется заданными точностью и шероховатостью. Выбранную или рассчитанную подачу корректируют по паспортным данным станка.

III. Рассчитывают скорость резания  $v$ .

Скорость резания  $v$  – величина перемещения режущей кромки в единицу времени относительно обрабатываемой поверхности. Измеряется в м/мин, м/с. Определяют  $v$  по формулам теории резания или по таблицам нормативных материалов.

Для точения:

$$v = \frac{C_v}{T^m t^{x_v} S^{y_v}} K_v, \text{ м/мин,}$$

где  $t$  – глубина резания, мм;  $S$  – подача, мм/об;  $T$  – стойкость резца, мин;  $C_v$ ,  $x_v$ ,  $y_v$ ,  $m$ ,  $K_v$  – табличные коэффициенты.

IV. Рассчитывают силу резания  $R_z$ , число оборотов  $n$ , мощность резания  $N$ .

V. Определение квалификации работ. Операции относят к определённым квалификационным разрядам по тарифно-квалификационным справочникам: "Единый тарифно-квалификационный справочник работ и профессий рабочих" (М.: Машиностроение. Т. 1–2).

### 3. ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ТИПОВЫХ ДЕТАЛЕЙ МАШИН

#### 3.1. ВИДЫ И СПОСОБЫ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ЗАГОТОВОК

Основными видами заготовок, применяемых в химическом машиностроении, являются:

- 1) заготовки из проката;
- 2) кованные и штампованные заготовки;
- 3) отливки из чёрных и цветных металлов;
- 4) заготовки из металлокерамики;
- 5) сварные заготовки;
- 6) заготовки из неметаллических материалов.

Рассмотрим основные виды заготовок, применяемых в машиностроении.

**Заготовки из проката.**

- а) сортовой прокат (круглый, квадратный, шестигранный, прямоугольный и фасонный);
- б) листовой (толстолистовой  $S = 4 \dots 160$  мм; тонколистовой  $< 4$  мм; фольга  $S < 0,2$  мм);
- в) трубный ( $D = 30 \dots 650$  мм,  $S = 2 \dots 160$  мм); сварные трубы ( $D = 5 \dots 2500$  мм,  $S = 0,5 \dots 16$  мм);
- г) специальный (периодически – продольный, поперечно-винтовой).

Прокат может применяться в качестве заготовки для непосредственного изготовления деталей, либо в качестве исходной заготовки при пластическом формообразовании (ковка, штамповка). Использование специального проката целесообразно в массовых или крупномасштабных производствах, при этом заготовки максимально приближены по форме к форме готовой детали. Часть этих заготовок не требуют дополнительной механической обработки, либо только отделочной обработки.

**Кованные и штампованные заготовки.** Ковка и штамповка относятся к обработке металлов давлением. Заготовки этими методами получают на различном оборудовании.

В единичном и мелкосерийном производствах – ковочные молоты и гидравлические ковочные прессы. Заготовки характеризуются грубым приближением к форме готовой детали. Ковка – единственный способ изготовления тяжёлых заготовок (до 250 т). Для большего приближения к форме готовой детали (в мелкосерийном производстве) применяют подкладные штампы (рис. 37).

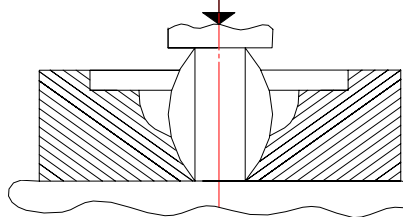


Рис. 37. Штамповка в подкладных штампах

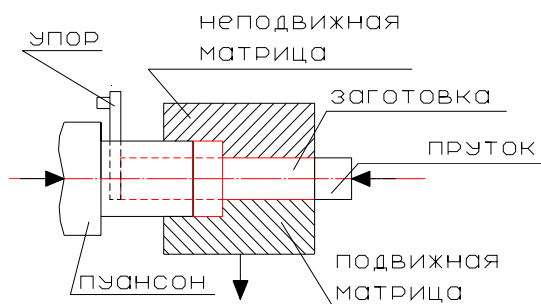
В серийном и массовом производствах заготовки изготавливают на штамповочных молотах и прессах в открытых и закрытых штампах. Технологическими процессами, интенсивно регулирующими технологию штамповки, являются:

- а) штамповка заготовки из центробежных отливок в кокиль;
- б) штамповка методом выдавливания (в закрытых и разъёмных штампах);
- в) безоблойная штамповка;
- г) штамповка из периодического проката;
- д) объёмная штамповка из заготовок, полученных непрерывной разливкой стали;

Для получения заготовок в виде стержня с утолщением, колец, втулок, стаканов, эффективно применяются горизонтально-ковочные машины (ГКМ). Этот способ производителен и экономичен. Исходный материал – прокат круглого сечения (рис. 38).

Штамповку на ГКМ можно выполнить за несколько проходов в отдельных ручьях.

Холодная листовая штамповка – высокопроизводительный метод. Исходный материал – листовый металл в виде полос и ленты. Для восстановления пластических свойств металла применяют отжиг. К обра-



**Рис. 38. Схема работы горизонтально-ковочной машины**

ботке давлением также относят: гибку заготовок из проката на гибочных машинах, раскатку полых заготовок, вальцовку обечаек на вальцовочных станках.

#### **Отливки из чёрных и цветных металлов.**

Установлено 3 класса точности отливок. При выборе литой заготовки необходимо в первую очередь определить класс точности в зависимости от масштаба производства и способа получения отливки, который обусловливается наличием технологической оснастки в условиях конкретного производства. Основным фактор при выборе заготовки – себестоимость. Наиболее универсальный метод – литьё в песчаные формы: с ручной формовкой при единичном и мелкосерийном производстве и машинной – при серийном. В настоящее время применяют литьё в быстротвердеющие смеси. Для изготовления крупных отливок в условиях массового производства применяют литьё в землю по металлическим моделям. Широкое применение при всех видах производств получило литьё в стержневые формы. В условиях серийного и массового производства применяют производительные, но более дорогостоящие методы:

- а) литьё в оболочковые формы;
- б) литьё в кокиль;
- в) литьё по выплавляемым моделям;
- г) литьё под давлением;
- д) центробежное литьё и др.

### **3.2. ПРЕДВАРИТЕЛЬНАЯ ОБРАБОТКА ЗАГОТОВОК**

Предварительная обработка заготовок заключается в придании заготовке такого вида и состояния, при которых возможна обработка их на металлорежущих станках.

*Обработка отливок* состоит в удалении литников и прибылей, очистке отливок и термической обработке. Применяют шлифовально-обдирочные станки, шлифовальные круги с гибким валом, пневматические зубила. Эффективна очистка струёй воды с крупнозернистым абразивом и кальцинированной содой; заготовки из чугуна, стали и её сплавов подвергают термообработке.

*Обработка поковки* состоит в удалении облоя и плёнки обрезкой или прошивкой заготовок в штампах на обрезных кривошипных прессах в холодном или горячем состоянии. Производят очистку заготовок в дробеструйных и пескоструйных установках, галтовкой в барабанах, применяют очистку травлением. При необходимости поковки правят и термообрабатывают.

*Обработка проката* состоит в кровле и разрезании на штучные заготовки. Для проката  $D = 0,25 \dots 8$  мм применяют правильно-отрезные автоматы. Точность  $0,5 \dots 0,7$  мм/м. При диаметре проката  $8 \dots 100$  мм применяют правильно-калибровочные станки. Точность: чёрный прокат –  $0,5 \dots 0,9$  мм/м. Точность калибровки по диаметру  $0,03 \dots 0,05$  мм/м. Правку штучных заготовок ведут на прессах. Листовой прокат  $S < 40$  мм и длиной до трёх метров проводят на листопрямительных вальцах. Точность  $1 \dots 2$  мм/м. В условиях единичного и мелкосерийного производства используют ручную правку (правка струбицей, ручные винтовые прессы).

*Резка.* Используют несколько методов:

- а) на станках токарной группы (до  $D < 80$  мм), точность 0,3...0,8 мм. На фрезерно-отрезных станках (до  $D < 500$  мм);
- б) приводными ножовками (единичное и мелкосерийное производство)  $D < 300$  мм,  $S_{\text{реза}} = 1 \dots 3,5$  мм;
- в) ленточными пилами. Недостатки – малый срок службы;
- г) абразивными кругами. Используют для резки закалённых заготовок  $D < 50$  мм;
- д) прессоножницами  $D = 10 \dots 70$  мм;
- е) приводными ножницами режут листовой и профильный прокат  $S$  до 20 мм;
- ж) газовая резка. В основном для резки листового проката;
- з) плазменно-дуговая резка;
- и) специальные методы: анодно-механическая, электроискровая, электромеханическая, ультразвуковая, электронно-лучевая, лазерная. Используют, как правило, для резки труднообрабатываемых материалов;
- к) ударно-импульсный способ резки.

### 3.3. ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ КЛАССА "КРУГЛЫЕ СТЕРЖНИ" (ВАЛЫ)

#### 3.3.1. 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.

**Технологические задачи** формулируются в соответствии с рекомендациями и охватывают требованиями к точности детали по всем их параметрам.

*Точность размеров.* Точными поверхностями валов являются, как правило, его опорные шейки, поверхности под детали, передающие крутящий момент. Обычно они выполняются по 6–7-му 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 должен превышать 0,25...0,5 допусков 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  $R_a = 3,2 \dots 0,4$  мкм, рабочих торцов  $R_a = 3,2 \dots 1,6$  мкм, остальных несоответственных поверхностей  $R_a = 12,5 \dots 6,3$  мкм. Валы могут быть сырыми и термообработанными. Твёрдость поверхностных слоёв, способ термообработки могут быть весьма разнообразными в зависимости от конструктивного назначения валов. Если значение твёрдости не превышает HB 200...230, то заготовки подвергают нормализации, отжигу или термически не обрабатывают. Для увеличения износостойкости валов повышают твёрдость их рабочих поверхностей. Часто это достигается поверхностной закалкой токами высокой частоты, обеспечивающей твёрдость HRC 48...55. Поверхности валов из малоуглеродистых марок стали подвергают цементации на глубину 0,7...1,5 мм с последующей закалкой и отпуском. Таким способом можно достичь твёрдости HRC 55...60.

Так например, для вала, представленного на рис. 39 технологические задачи формулируются следующим образом.

- точность размеров основных поверхностей находится в пределах 6 – 8-го квалитетов, а размеры с неуказанными отклонениями выполняются по 14-му квалитету;
- точность формы регламентируется для опорных шеек допусками круглости и профиля в продольном сечении – 0,006 мм, а у остальных поверхностей погрешности формы не должны превышать определённой части поля допуска на соответствующий размер (например, для нормальной геометрической точности 60 % от поля допуска);
- точность взаимного расположения задаётся допусками радиального и торцового биений (соответственно 0,02 и 0,016 мм) относительно базы;
- шероховатость сопрягаемых цилиндрических поверхностей ограничивается значениями  $R_a = 0,8$  мкм, а торцовых  $R_a = 1,6$  мкм; шероховатость несопрягаемых поверхностей  $R_a = 6,3$  мкм; шлицевый участок подвергается термообработке ТВЧ HRC 50...55.



Прокат круглого сечения поступает на машиностроительные заводы в виде многометровых прутков, из которых в заготовительных цехах нарезаются заготовки необходимой длины.

В наибольшей мере указанным требованиям отвечают отрезные круглопильные станки, применяемые в серийном и массовом производствах. В качестве режущего инструмента в них применяются пильные диски, оснащённые сегментами из быстрорежущей стали. Таким диском можно разрезать прокат диаметром до 240 мм или пакет прутков меньшего диаметра. Торцы заготовок после отрезки имеют шероховатость  $R_a = 25$  мкм.

В мелкосерийном и единичном производствах применяются более простые, но менее производительные отрезные ножовочные станки. Тонкие ножовочные полотна дают узкий пропилов, но вследствие малой жёсткости не обеспечивают высокой перпендикулярности торцов заготовок.

Резка прутков и труб из высокоуглеродистых, закалённых сталей наиболее эффективна на абразивно-отрезных станках, оснащённых тонкими, толщиной 3...6 мм абразивными кругами на бакелитовой или вулканической связках. Благодаря высокой скорости вращения, достигающей 80 м/с, круги быстро разрезают пруток, образуя ровный срез с шероховатостью  $R_a = 3,1...6,3$  мкм. Во избежание пережога торцов зона резания обильно поливается охлаждающей жидкостью.

В сравнении с перечисленными другие методы резки применяются реже. К ним относятся: резка на токарно-отрезных станках отрезными резцами, на фрезерных станках прорезными фрезами, резка фрикционными пилами. Фрикционная пила представляет собой тонкий стальной диск, которому сообщается скорость вращения выше 100 м/с. В месте контакта с заготовкой выделяющаяся вследствие трения теплота расплавляет металл прутка, что обеспечивает высокую производительность процесса. Однако оплавление торцов заготовок снижает их качество. К наиболее производительным методам относятся рубка прутков на прессах и резка ножницами. Существенным недостатком этих методов, ограничивающим их применение, является смятие концов заготовок.

На машиностроительные заводы прокат поступает с заметными отклонениями от прямолинейности оси. Для устранения кривизны прутки перед резкой подвергают правке (рис. 40). Для этой цели служат правильно-калибровочные станки. Нарезанные заготовки перед началом обработки, а иногда и в процессе дальнейшей обработки также приходится подвергать правке. Такую правку обычно проводят на прессах.

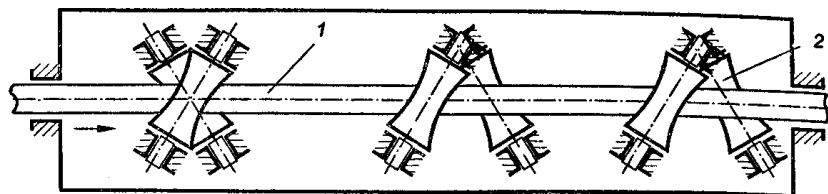
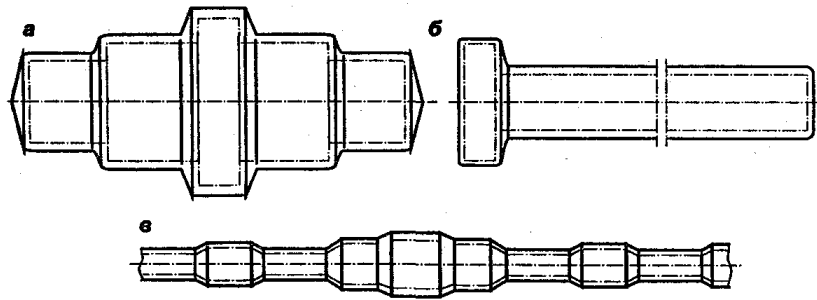


Рис. 40. Схема правильно-рихтовочного устройства станка:  
1 – пруток; 2 – ролик

Заготовки такого вида применяют в основном в мелкосерийном и единичном производстве, а также при изготовлении валов с небольшим количеством ступеней и незначительными перепадами их диаметров.

В производстве с более значительным масштабом выпуска, а также при изготовлении валов более сложной конфигурации с большим количеством ступеней, значительно различающихся по диаметру, заготовки целесообразно получать методом пластической деформации. Эти методы (ковка, штамповка, периодический прокат, обжатие на ротационно-ковочных машинах, электровысадка) позволяют получать заготовки по форме и размерам наиболее близкие к готовой детали (рис. 41), что значительно повышает производительность механической обработки и снижает металлоёмкость изделия.

Выбор наиболее рационального способа получения заготовки в каждом отдельном случае определяется комплексно с учётом технико-экономической целесообразности. С увеличением масштабов выпуска особое значение приобретают эффективность использования металлов и сокращение трудоёмкости механической обработки. Поэтому в крупносерийном и массовом производстве преобладают методы получения заготовок с коэффициентом использования металлов от 0,7 и выше (отношение массы детали к норме расхода металла), достигающего в отдельных случаях до 0,95. Полые валы целесообразно изготавливать из труб.



**Рис. 41. Заготовки, полученные различными методами:**  
*a* – штамповкой в штампах;  
*б* – штамповкой на горизонтально-ковочной машине;  
*в* – поперечно-винтовой прокаткой

### 3.3.3. ОСНОВНЫЕ СХЕМЫ БАЗИРОВАНИЯ

Основными базами подавляющего большинства валов являются поверхности его опорных шеек и торцы (рис. 42). Для установки заготовок используют *патроны*: 1) самоцентрирующиеся двух-, трёх- и четырёхкулачковые, 2) магнитные. Часто за технологические базы принимают поверхности центровых отверстий с обоих торцов заготовки, что позволяет обрабатывать почти все наружные поверхности вала на постоянных базах с установкой его в центрах. 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. Используются следующие *центры*:

- 1) вращающиеся центры;
- 2) плавающие центры;
- 3) рифлёные центры;
- 4) сферические центры;
- 5) задний срезанный центр и т.д.

Вид креплений	Обозначение
На резьбовой оправке с наружной резьбой	
На шлицевой оправке	
На цанговой оправке	

**Рис. 42. Виды крепления валов и схематичное изображение**

Вид креплений	Обозначение
На регулируемой опоре со сферической выпуклой поверхностью	
В пневматическом зажиме с рифлёной поверхностью	
В неподвижном гладком центре	

В рифлёном центре	
В плавающем центре	
Во вращающемся центре	
В обратном вращающемся центре с рифлёной поверхностью	
В поводковом патроне	
С подвижным люнетом	
С неподвижным люнетом	
На цилиндрической оправке	

Рис. 42. Окончание

Форма и размеры центровых отверстий стандартизованы. Существует несколько типов центровых отверстий, из которых для валов чаще всего применяются три (см. таблицу):

Таблица

Эскиз	Обозначение	Назначение
	А без предохранительного конуса	Изделия, после обработки необходимость в центровых отверстиях отпадает
	Б с предохранительным конусом	Изделия, в которых центровые отверстия являются базой для повторного или многократного использования, либо сохраняются в готовых изделиях
	Р с дугообразными образующими	Изделия повышенной точности

Рабочими участками являются конуса, которыми вал опирается на центры станка в процессе обработки. Цилиндрические участки диаметром  $d$  необходимы для предотвращения контакта вершин станочных центров с заготовкой. При обработке крупных, тяжёлых валов применяют усиленные станочные центры с углом конуса  $75$  или  $90^\circ$ . С соответствующими углами конусов выполняют и центровые отверстия валов. Предохранительный конус с углом  $120^\circ$  позволяет избежать случайных забоин на рабочем конусе в процессе межоперационного транспортирования вала. Валы с предохранительными конусами более ремонтпригодны.

Использование центров в качестве установочных элементов предусматривает применение того или иного поводкового устройства, передающего крутящий момент заготовке. Такими устройствами являются **поводковые патроны, хомутики** и т.д. (рис. 43).

Передача крутящего момента подаётся через палец-поводок (2), закрепленный в патроне (1), и хомутик (3), устанавливаемый на заготовке.

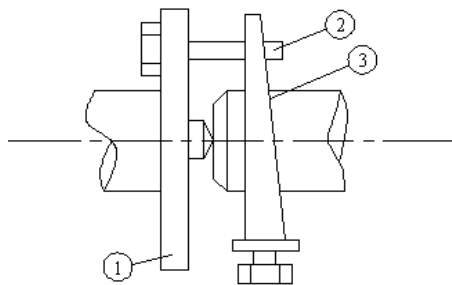


Рис. 43. Схема поводкового патрона

Установка в цанговые патроны (подающие, зажимные) служит, как правило, для закрепления пруткового материала и инструмента с хвостовой частью. Установка в оправках (для полых валов) – жёстких, центрирующих (с постоянным диаметром) и разжимных. Различают также поводковые оправки:

- жёсткие – конические, цилиндрические, поводковые.
  - разжимные – кулачковые, самозажимные, с гофрированными втулками и др.
- Основные способы установки валов приведены на рис. 44 – 47.

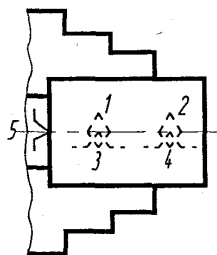


Рис. 44. Установка вала в патроне  $L/D < 4$

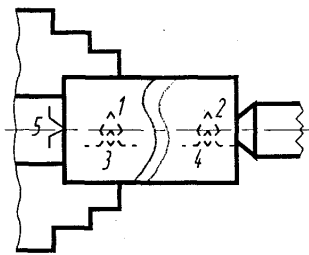


Рис. 45. Установка вала в патроне с поджимом задним центром  $L/D = 4...10$

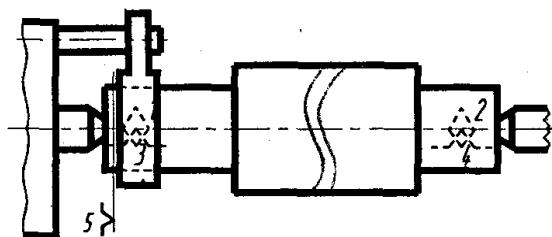


Рис. 46. Установка вала в поводковом патроне и центрах  $L/D = 4...10$

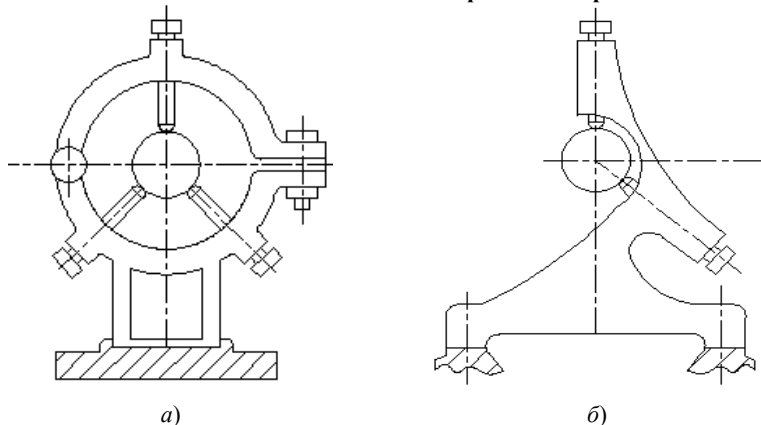


Рис. 47. Виды люнетов:  
а – неподвижный; б – подвижный



При установке и обработке длинных заготовок валов, осей, стержней в качестве дополнительной опоры, повышающей жёсткость технологической системы, применяют *люнеты*. Люнеты используют при обработке заготовок с  $L/D > 12 \dots 15$ . Различают подвижные и неподвижные люнеты (рис. 47).

Для облегчения условий труда при закреплении заготовок на станки используют механизированные при- воды: пневматические, гидравлические, электрические и магнитные.

### 3.3.4. ОБРАБОТКА ГЛАДКИХ ВАЛОВ

Обработка всех валов делится на черновую, чистовую и отделочную. Гладкие валы: диаметр 20...50 мм. Маршрут обработки (серийное производство):

1. Правка прутка на правильно-калибровочных станках.
2. Разрезание на штучные заготовки.
3. Фрезерование торцов и зацентровка. При большой программе выпуска – на фрезерно-центровальных станках.
4. Черновое обтачивание (за 1 или 2 установка).
5. Проточка шейки под люнет (для нежёстких валов).
6. Сверление центрального отверстия с его последующей обработкой. Для этого используют: специальные однокромочные, шнековые, эжекторные свёрла с подачей СОЖ через инструмент.
7. Чистовое точение.
8. Фрезерование шпоночных канавок (на горизонтально-фрезерном станке или шпоночно-фрезерном полуавтомате).
9. Шлифование на кругло-шлифовальном или бесцентрово-шлифовальном станках.

При изготовлении гладких валов из калиброванного проката с минимальным припуском на обработку ограничиваются только шлифованием (без точения).

### 3.3.5. ОБРАБОТКА СТУПЕНЧАТЫХ ВАЛОВ

По сравнению с гладкими добавляются операции: подрезка уступов с выдерживанием допусков на длину ступеней, проточка канавок и галтелей, нарезание резьб, шлицев, снятие лысок и фрезерование квадратов. Маршрут обработки во многом подобен маршруту изготовления гладких валов. Операции нарезания резьб, шлицев проводятся перед чистовым шлифованием, а проточка канавок и галтелей в ходе чистового точения.

При проведении обточки наружной поверхности применяют многорезцовую обработку (рис. 48, *а*), а также станки с копировальным устройством (рис. 48, *б*). Последние модели токарно-копировальных станков имеют несколько (до 5) копировальных суппортов, перемещающихся независимо друг от друга, при этом каждый обрабатывает свой участок поверхности вала (рис. 48).

В качестве преимущества копировальной обработки перед многорезцовой можно отметить:

- 1) в 2–3 раза меньше время насадки;
- 2) выше точность (IT9 вместо IT11);
- 3) ниже влияние упругих деформаций, так как работает только один резец;

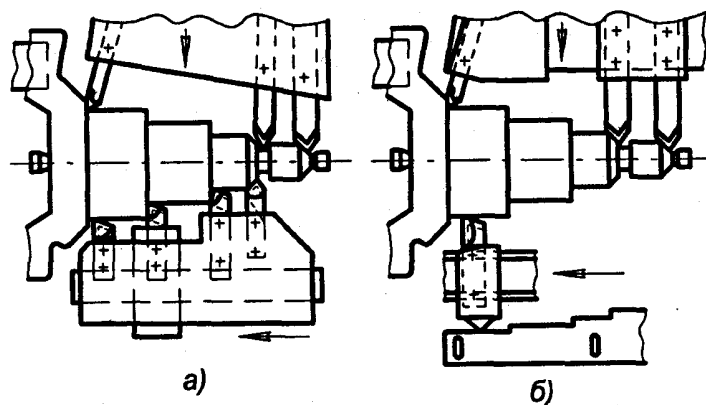


Рис. 48. Схемы наладок многорезцовых станков:  
*а* – без копира; *б* – по копиру

- 4) отсутствуют уступы;
- 5) выше скорость резания.

Эффективно применение копировальных полуавтоматов при серийном производстве, но при числе ступеней больше четырёх даже в партиях по 20...50 штук.

В мелкосерийном производстве применяют станки с гидросуппортами и станки с ЧПУ.

### 3.3.6. МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ НАРУЖНЫХ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

Детали, имеющие поверхности вращения (цилиндрические, наружные, фасонные, цилиндрические внутренние и др.) обрабатывают на различных станках: токарной группы (токарно-винторезные, токарно-карусельные, токарно-револьверные, одношпиндельные и многошпиндельные полуавтоматы и автоматы, станки для тонкого точения и др.); шлифовальной группы (круглошлифовальные, бесцентрово-шлифовальные, притирочные, полировальные и т.п.). Станки этих групп применяют как обычные, так и с числовым программным управлением (ЧПУ). Наиболее распространённым методом обработки цилиндрических наружных поверхностей является точение резцом (резцами).

Для точения цилиндрических поверхностей и поверхностей, прилегающих к ним и ограничивающих их длину (торцы, уступы, канавки, радиусы и т.д.), применяют проходные, подрезные (прямые и отогнутые), отрезные, канавочные и другие резцы с напайными пластинами из быстрорежущей стали или твёрдых сплавов и композиционных материалов.

При токарной обработке различают:

а) черновое точение (или обдирочное) – с точностью обработки IT13... IT12 с шероховатостью поверхности до  $R_a = 6,3$  мкм;

б) полустовое точение – IT12... IT11 и шероховатость до  $R_a = 1,6$  мкм;

в) чистовое точение – IT10... IT8 и шероховатость до  $R_a = 0,4$  мкм.

При черновом обтачивании, как и при любой черновой обработке снимают до 70 % припуска. При этом назначают максимально возможные глубину резания  $t$  и подачу  $S$ .

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

На чистовых операциях подача ограничивается заданной шероховатостью поверхности, поэтому сокращение основного времени возможно за счёт увеличения скорости резания. На универсальных токарно-карусельных станках обрабатывают заготовки деталей типа тел вращения разнообразной формы диаметром до 10 000 мм.

К методам чистовой обработки относятся: тонкое точение и различные методы шлифования. Они, как правило, позволяют обеспечить требуемые точность размеров, формы, взаимного расположения и, в большинстве случаев, качество поверхностного слоя.

Тонкое точение применяется, главным образом, для отделки деталей из цветных металлов и сплавов (бронза, латунь, алюминиевые сплавы и другие) и отчасти для деталей из чугуна и закалённых 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, оснащённые твёрдым сплавом (ТЗОК4, синтетические сверхтвёрдые материалы типа оксидная керамика ВОК60 и оксидно-нитридная керамика "кортинит" 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 резания ( $V = 120...1000$  м/мин). Точность размеров IT5...IT6;  $R_a = 0,8...0,4$  мкм.

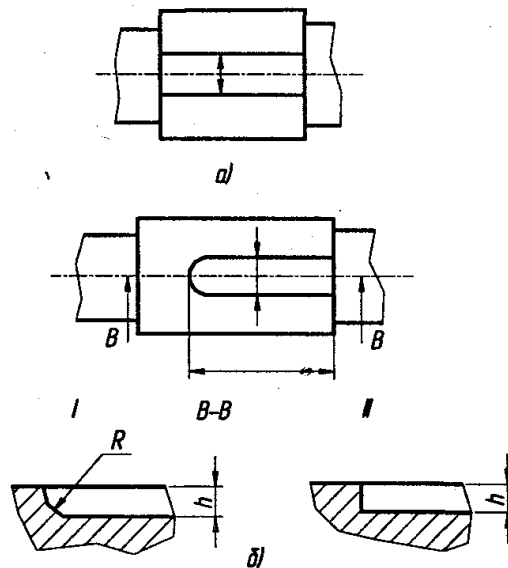
Подготовка поверхности под тонкое точение сводится к чистовой обработке с точностью IT8...IT9. Весь припуск снимается за один рабочий ход. Применяются станки особо высокой точности, жёсткости и виброустойчивости. На этих станках не следует выполнять другие операции.

### 3.3.7. ОБРАБОТКА НА ВАЛАХ ЭЛЕМЕНТОВ ТИПОВЫХ СОПРЯЖЕНИЙ

Кроме цилиндрических и конических поверхностей вращения валы обычно содержат также и другие элементы, к которым относятся шпоночные пазы, шлицевые и резьбовые поверхности и т.д. (рис. 51).

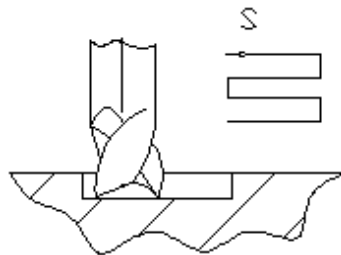
Для передачи крутящего момента деталям, сопряжённым с валом, широко применяют шпоночные и шлицевые соединения.

**Обработка шпоночных соединений.** Наибольшее распространение в машиностроении получили призматические и сегментные шпонки. Шпоночные пазы для призматических шпонок могут быть сквозными (рис. 49, а) закрытыми с одной стороны (рис. 49, б) закрытыми с двух сторон, т.е. глухими (рис. 49, в). Наименее технологичными являются глухие шпоночные пазы. Предпочтительнее применение сквозных пазов и пазов закрытых с одной стороны, но с радиусным выходом.



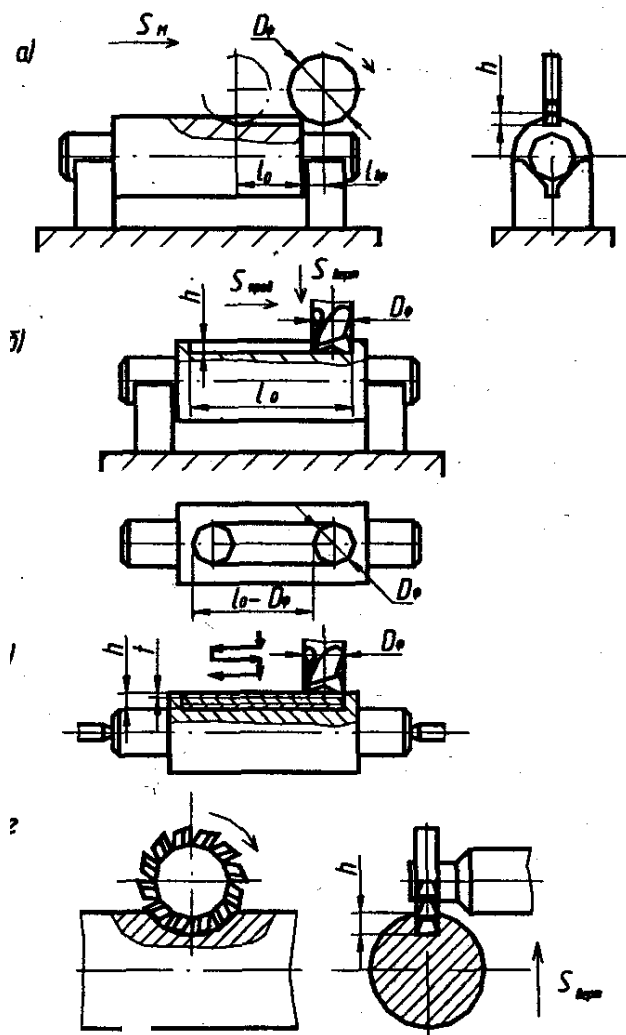
**Рис. 49. Виды шпоночных пазов:**  
*a* – сквозные; *б* – закрытые с одной стороны  
 (I – с радиусным выходом; II – с выходом под концевую фрезу)

К технологическим задачам, стоящим при обработке шпоночных пазов, относятся требования по точности ширины паза (по IT9), глубины паза (с рядом отклонений: +0,1; +0,2; +0,3), длины (по IT11...IT12). Требуется обеспечить также симметричность расположения паза относительно оси шейки, на которой он расположен. Установка валов при обработке пазов обычно производится на призме или в центрах рис. 51.



**Рис. 50. Фрезерование шпоночного паза с использованием "маятниковой подачи"**

При проектировании техмаршрута операция "фрезеровать шпоночный паз" располагается после обтачивания шейки, до её шлифования, так как вследствие удаления части материала посадочное место вала иногда деформируется.



**Рис. 51. Методы фрезерования шпоночных пазов:**

*a* – дисковой фрезой с продольной подачей; *б* – концевой фрезой с продольной подачей; *в* – шпоночной фрезой с маятниковой подачей; *г* – дисковой фрезой с вертикальной подачей

Шпоночные пазы изготавливаются различными способами в зависимости от конфигурации паза и вида применяемого инструмента; они выполняются на горизонтально-фрезерных или вертикально-фрезерных станках общего назначения или специальных.

Сквозные и закрытые с одной стороны шпоночные пазы изготавливаются фрезерованием дисковыми фрезами (см. рис 51, *a*). Фрезерование пазов производится за один-два рабочих хода. Этот способ наиболее производительен 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 (см. рис. 51, *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 периферической частью, диаметр которой после заточки несколько уменьшается, то в зависимости от числа переточек фреза даёт неточный размер паза по ширине.

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 (см. рис. 50, 51, *в*). Отсюда и происходит определение метода – "маятниковая подача".

Этот метод является наиболее рациональным для изготовления шпоночных пазов в серийном и массовом производствах, так как даёт вполне точный паз, обеспечивающую полную взаимозаменяемость в шпоночном соединении. Кроме того, поскольку фреза работает торцовой частью, она будет долговечнее, так как изнашивается не периферическая её часть, а торцовая. Недостатком этого способа является значительно большая затрата времени на изготовление паза по сравнению с фрезерованием за один рабочий ход и тем более с фрезерованием

дисковой фрезой. 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. 51, з).

**Обработка шлицевых соединений.** Шлицевые соединения широко применяются в машиностроении (станкостроении, автомобиле- и тракторостроении и других отраслях) для неподвижных и подвижных посадок.

Различают шлицевые соединения прямоугольного, эвольвентного и треугольного профиля. В наиболее часто используемых шлицевых соединениях прямоугольного профиля сопряжённые детали центрируются тремя способами:

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

Центрирование по  $D$  наиболее технологично, но его использование ограничивается в основном неподвижными шлицевыми соединениями, не требующими повышенной твёрдости. Центрирование по ( $d$ ) применяется в тех случаях, когда элементы шлицевого соединения используются для подвижных сопряжений, подвергнутых закалке. Центрирование по  $b$  применимо в случае передачи больших крутящих моментов с реверсированием вращения.

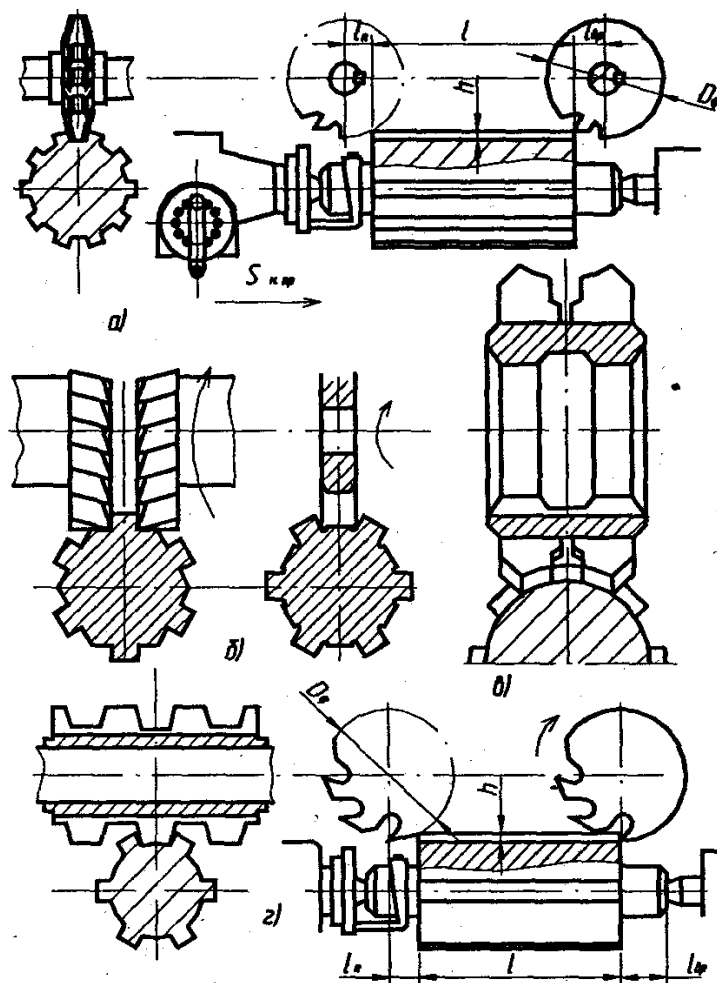
Технологический процесс изготовления шлицев валов зависит от того, какой принят способ центрирования вала и втулки, т.е. термообрабатываются или нет поверхности шлицев.

Приведём 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 фрезеруют за один рабочий ход, больших диаметров – за два рабочих хода. Черновое фрезерование шлицев, в особенности больших диаметров, иногда производится фрезами на горизонтально-фрезерных станках, имеющих делительные механизмы (рис. 52, а – в).



**Рис. 52. Способы фрезерования шлицев:**

*a* – дисковой модульной фрезой; *б* – торцевыми или дисковыми фрезами; *в* – специальными дисковыми фрезами (наборными); *г* – червячной фрезой

Фрезеровать шлицы можно способом, изображенным на рис. 52, *в*, позволяющим применять более дешёвые фрезы, чем фреза, изображённая на рис. 52, *а*.

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

Чистовое фрезерование шлицев дисковыми фрезами производится только в случае отсутствия специального станка или инструмента, так как оно не даёт достаточной точности по шагу и ширине шлицев.

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.

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 реализуется, как правило, на специальных станках-полуавтоматах, которые могут работать как отдельно, так и будучи встроенными в автоматическую линию. Этим методом чаще всего обрабатываются сквозные шлицы или шлицы, у которых предусмотрен выход для резцов.

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

Шлицепротягивание обеспечивает шероховатость поверхности  $R_a = 1,6 \dots 0,8$  мкм.

Шлифование шлицев осуществляется следующим образом.

При центрировании шлицевых валов по наружному диаметру шлифуют только наружную цилиндрическую поверхность вала на обычных круглошлифовальных станках; шлифование впадины (т.е. по внутреннему диаметру шлицев вала) и боковых сторон шлицев не применяется.

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

Если шлицевые валы после черного 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 боковых сторон шлицев. Наиболее производителен способ шлифования фасонным кругом (рис. 53, а), но при таком способе шлифовальный круг изнашивается неравномерно ввиду неравномерной толщины снимаемого слоя у боковых сторон и впадины вала, поэтому требуется частая правка круга. Несмотря на это, данный способ широко распространён в машиностроении.

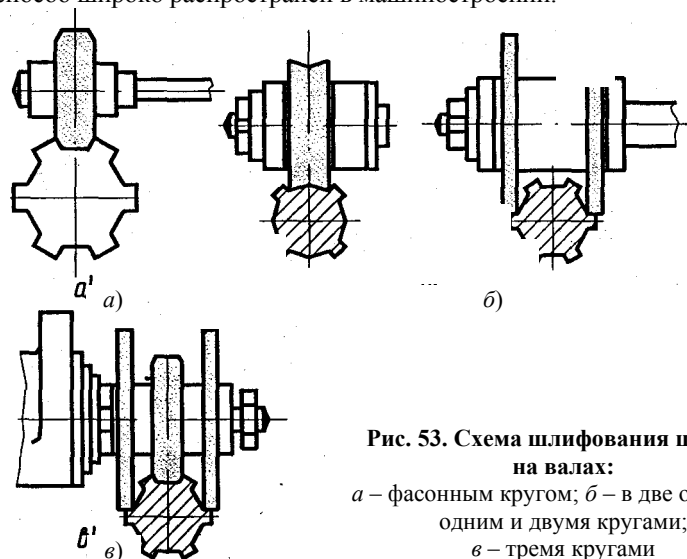


Рис. 53. Схема шлифования шлицев на валах:  
а – фасонным кругом; б – в две операции одним и двумя кругами;  
в – тремя кругами

Шлифовать шлицы можно в две отдельные операции (рис. 53, б); в первой шлифуют только впадины (по внутреннему диаметру), а во второй – боковые стороны шлицев. Для уменьшения износа шлифовального круга после каждого хода стола вал поворачивается, и, таким образом, шлифовальный круг обрабатывает впадины постепенно, одну за другой.

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. 53, в).

**Нарезание резьбы.** В машиностроительном производстве применяют цилиндрические резьбы – крепёжные и ходовые, а также конические резьбы.

Основной крепёжной резьбой является метрическая резьба треугольного профиля с углом профиля  $60^\circ$ .

Ходовые резьбы бывают с прямоугольным и трапециевидным профилем; последние бывают однозаходные и многозаходные.

Резьба может быть наружная (на наружной поверхности детали) и внутренняя (на внутренней поверхности детали).

Наружную резьбу можно изготовлять различными инструментами: резцами, гребёнками, плашками, самораскрывающимися резбонарезными 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, объёма производственной программы и требуемой точности.

Нарезание резьб осуществляется на резбонарезных и резьбофрезерных станках и полуавтоматах, гайко-нарезных автоматах, резьбонакатных, резьбошлифовальных, токарных и других станках.

**Нарезание резьбы резцами и резьбовыми гребёнками.** Наружную и внутреннюю резьбы можно обрабатывать на токарных станках. Это малопроизводительный процесс, так как обработка осуществляется за несколько рабочих ходов и требует высокой квалификации рабочего. Достоинством метода является универсальность оборудования, инструмента и возможность получить резьбу высокой точности. На токарных станках нарезают точные резьбы на ответственных деталях, а также нестандартные резьбы и резьбы большого диаметра. Для повышения точности резьбы осуществляют как черновые, так и чистовые рабочие ходы разными резцами. Различают два способа нарезания треугольной резьбы: 1) радиальное движение подачи; 2) движение подачи вдоль одной из сторон профиля.

Первый способ более точный, но менее производительный, поэтому рекомендуется черновые рабочие ходы делать вторым способом, а чистовой – первым (рис. 54, а).

Для повышения производительности обработки резьбы применяют резьбовые гребёнки – круглые и призматические. Обычно ширину гребёнки принимают равной не менее чем шести шагам. При использовании гребё-

нок снятие стружки выполняют несколько зубьев (рис. 54, б) и число рабочих ходов может быть уменьшено до одного.

Для скоростного нарезания резьбы применяют резцы, оснащённые твёрдым сплавом, а также наборы резцов (рис. 55). Конструкции некоторых типов резцов приведены на рис. 54.

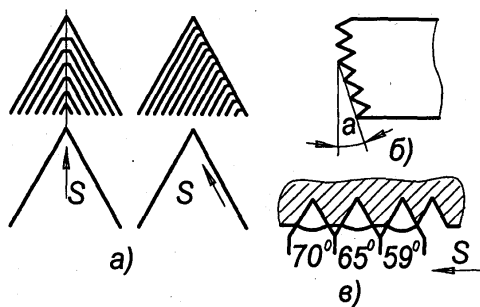


Рис. 54. Схемы нарезания резьбы:

а — с радиальной подачей и с подачей вдоль одной из сторон; б — расположение зубьев резковой гребёнки; в — набором резцов

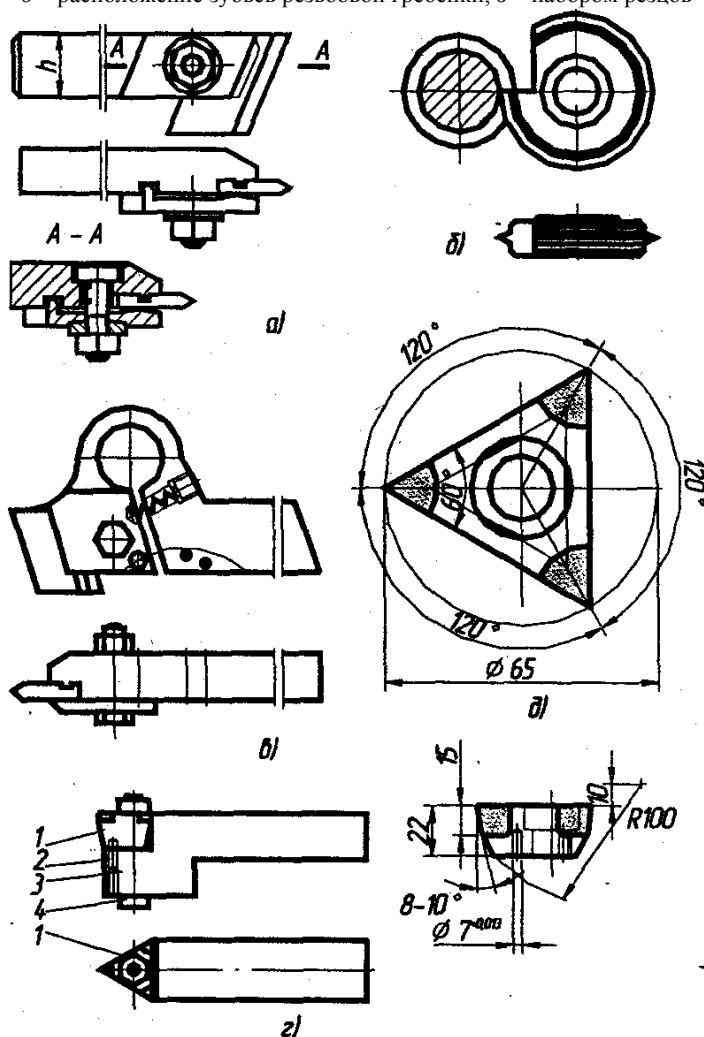


Рис. 55. Резцы для нарезания резьбы:

а — призматические; б — круглые; в — с пружинной державкой; г — с трёхрезцовой головкой; д — трёхрезцовая пластина

Гребёнки, подобно резцам, бывают плоские, призматические и круглые и отличаются от резцов тем, что режут одновременно несколькими режущими кромками. Для разделения работы резания концы зубьев гребёнки стачиваются от одного края гребёнки к другому, так что глубина резания постепенно увеличивается.

Токарные станки применяются для нарезания резьбы преимущественно для:

— нарезания резьбы на поверхностях, предварительно обработанных на токарном же станке, благодаря чему обеспечивается правильное положение резьб относительно других поверхностей;



- 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 объём партии мал;
- нарезания резьб большого диаметра, нестандартного профиля или шага, а также вообще во всех случаях, когда приобретение подходящих плашек и метчиков не оправдывается объёмом производства;
- нарезания прямоугольных резьб, чистовое фрезерование которых невозможно, а применение плашек и метчиков хотя и возможно, но затруднительно, особенно при обработке крупных заготовок.

Резьбу после нарезания резцом иногда калибруют точными плашками (часто вручную).

Таким образом, нарезание резьбы на токарном станке применяется преимущественно в единичном и мелкосерийном производствах, а в крупносерийном и массовом производствах, – главным образом, для нарезания длинных или точных резьб.

В крупносерийном и массовом производствах используется нарезание резьбы вращающимися резцами, так называемым вихревым методом. При этом заготовка закрепляется в центрах токарно-винторезного станка или в патроне. В процессе работы она медленно вращается. В специальной головке, установленной на суппорте станка, закрепляется резец. Головка, вращающаяся с большой скоростью от специального привода, расположена эксцентрично относительно оси нарезаемой резьбы. Таким образом, при вращении головки резец, закреплённый в ней, описывает окружность, диаметр которой больше наружного диаметра резьбы (рис. 56).

Периодически (один раз за каждый оборот головки) резец соприкасается с обрабатываемой поверхностью по дуге и за каждый оборот головки прорезает на заготовке серповидную канавку, имеющую профиль резьбы.

За каждый оборот вращающейся заготовки головка перемещается вдоль оси детали на величину шага резьбы. Головку наклоняют относительно оси детали на величину угла подъёма винтовой линии резьбы. При вихревом нарезании резьбы скорость резания, соответствующая скорости вращения резца  $V = 150 \dots 400$  м/мин, круговая подача  $S = 0,2 \dots 0,8$  мм за один оборот резца.

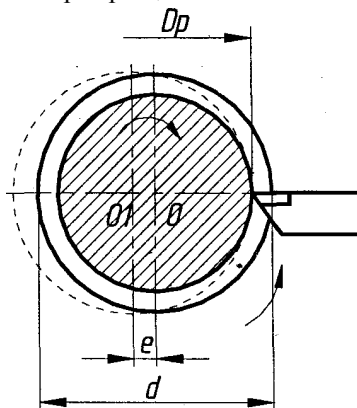


Рис. 56. Схема вихревого нарезания

Нарезание резьбы метчиками, плашками и самораскрывающимися резьбонарезными головками производится на различных станках.

Внутренние резьбы нарезают обычно машинными метчиками на резьбонарезных, сверлильных, револьверных, а также на агрегатных станках, полуавтоматах и автоматах в зависимости от масштаба производства.

В массовом и крупносерийном производстве получили широкое распространение метчики сборной конструкции (резьбонарезные головки).

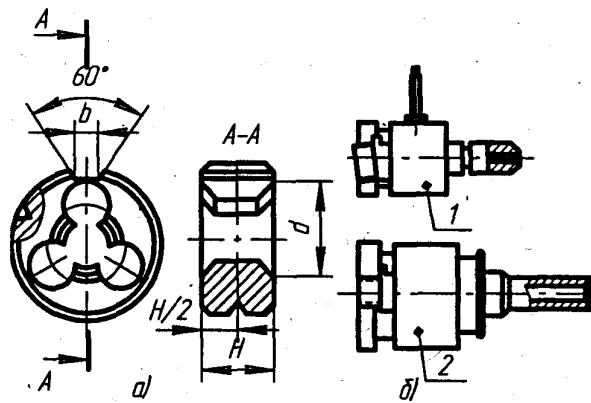
Основной недостаток всех типов плашек – это необходимость свинчивания их по окончании резания, что снижает производительность и несколько ухудшает качество резьбы.

Плашками нарезают резьбу как вручную, так и на различных станках токарной, сверлильной, резьбонарезной групп. Круглые плашки (рис. 57, а) устанавливают на станках в специальных патронах и закрепляют тремя-четырьмя винтами. Нарезание плашками – малопродуктивный процесс.

Нарезание наружной резьбы резьбонарезными самооткрывающимися головками значительно точнее, производительнее и отличается большей точностью, чем ранее рассмотренные методы; оно находит широкое применение в серийном и массовом производстве (рис. 57, б).

Вращающиеся головки используют на токарных автоматах и полуавтоматах.

**Шлифование.** Шлифование наружных поверхностей деталей типа тел вращения производят на круглошлифовальных, торцекруглошлифовальных станках, бесцентрово-шлифовальных полуавтоматах и автоматах как высокой, так и особо высокой точности.



**Рис. 57. Инструменты для нарезания резьбы:**  
*a* – плашка; *б* – самораскрывающаяся резьбовая головка

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

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

При обработке на круглошлифовальных и торцекруглошлифовальных станках заготовки устанавливают в центрах, патроне, цанге или в специальном приспособлении.

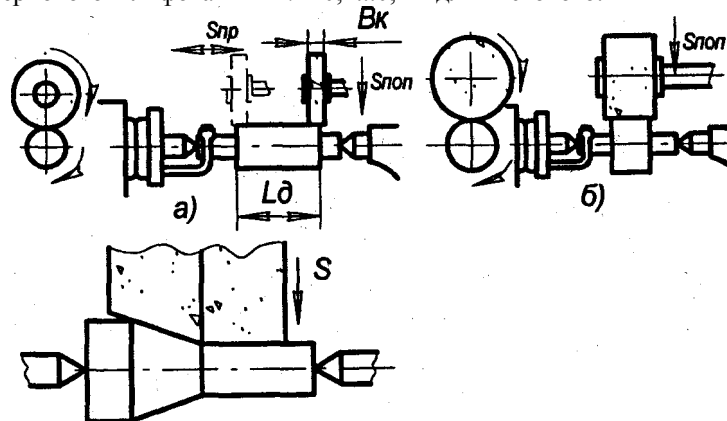
Заготовке сообщается вращение с окружной скоростью  $V_{\text{заг}} = 10 \dots 50$  м/мин; она зависит от диаметра обработки заготовки. Окружная скорость шлифовального круга (скорость резания)  $V = 30 \dots 60$  м/с. Подача  $S$  и глубина резания  $t$  варьируются в зависимости от способов шлифования. Различают следующие разновидности шлифования: продольное (с продольным движением подачи) и врезное (с поперечным движением подачи). Схемы обработки продольным и врезным шлифованием приведены на рис. 58.

Шлифование с продольным движением подачи (рис. 58, *a*) осуществляется за четыре этапа: врезание, чистовое шлифование, выхаживание и отвод.

В этом случае продольная подача является функцией ширины шлифовального круга:

$$S_{\text{пр}} = KB_k,$$

где  $k = 0,6 \dots 0,85$  – для чернового шлифования и  $k = 0,2 \dots 0,4$  – для чистового.



**Рис. 58. Схемы круглого наружного шлифования**

Поперечная подача на глубину шлифования осуществляется шлифовальным кругом в конце каждого двойного хода заготовки или круга и принимается в зависимости от материала, заготовки, круга и вида обработки ( $S = 0,005 \dots 0,05$  мм). В конце обработки последние продольные проходы выполняют без поперечной подачи (так называемое выхаживание).

Шлифование с продольной подачей применяют при обработке цилиндрических заготовок значительной длины.

Врезное шлифование применяют для обработки поверхностей, длина которых не превышает ширину шлифовального круга. Его преимущество – большая производительность и простота наладки, однако оно уступает продольному шлифованию по достигаемому качеству поверхности. Врезное шлифование широко применяют в массовом и крупносерийном производстве (рис. 58, *б*). Рекомендуемые скорости резания  $V = 50 \dots 60$  м/с; радиальная (поперечная) подача при окончательном шлифовании  $S = 0,001 \dots 0,005$  мм/об.

Разновидностью шлифования с продольным движением подачи является глубинное шлифование. Оно характеризуется большой глубиной резания (0,1...0,3 мм) и малой скоростью резания. При этом способе шлифо-

вания меньше, чем при врезном, сказывается влияние погрешности формы исходной заготовки и колебания припуска при обработке. Поэтому глубинное шлифование (рис. 58, б) применяют для обработки заготовок без предварительной лезвийной обработки и, как правило, снимают припуск за один рабочий ход. Производительность труда повышается в 1,2–1,3 раза по сравнению с продольным шлифованием. При значительном объеме производства применяют бесцентровое шлифование, которое более производительнее, чем в центрах.

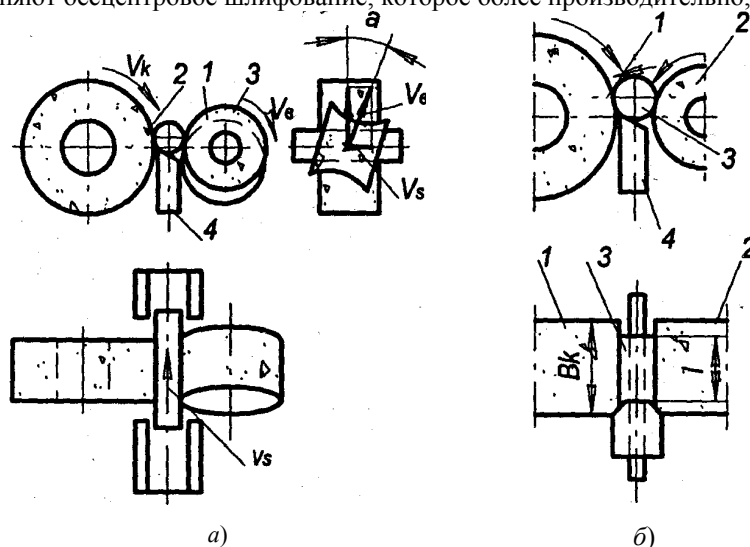


Рис. 59. Схемы круглого бесцентрового шлифования

Сущность бесцентрового шлифования (рис. 59) заключается в том, что шлифуемая заготовка 1 помещается между шлифовальным 2 и ведущим 3 кругами и поддерживается ножом (опорой) 4. Центр заготовки при этом должен быть несколько выше линии, соединяющей центры обоих кругов, примерно на 10...15 мм и больше, в зависимости от диаметра обрабатываемой заготовки во избежание получения огранки.

Шлифовальный круг имеет окружную скорость  $V_k = 30...65$  м/с, а ведущий  $V_b = 10...40$  м/мин. Так как коэффициент трения между кругом 3 и обрабатываемой заготовкой больше, чем между заготовкой и кругом 2 (рис. 59, а), то ведущий круг сообщает заготовке вращение со скоростью круговой подачи  $V_b$ . Благодаря скосу ножа, направленному в сторону ведущего круга, заготовка прижимается к этому кругу. Продольная подача заготовки обеспечивается за счёт наклона ведущего круга на угол  $\alpha$ . При этом скорость подачи заготовки рассчитывается по формуле:

$$V_s = V_{bkp} \sin \alpha \mu ,$$

где  $\mu = 0,98...0,95$  – коэффициент проскальзывания;  $\alpha = 3...5^\circ$  – предварительная обработка ( $t = 0,05...0,15$  мм);  $\alpha = 1...2^\circ$  – окончательная обработка ( $t = 0,01...0,03$  мм).

На бесцентрово-шлифовальных полуавтоматах и автоматах можно шлифовать заготовки деталей типа тел вращения с цилиндрическими, коническими и фасонными поверхностями. Применяют два метода шлифования: проходное (способ продольного движения подачи, рис. 59, а) и врезное (способ поперечного движения подачи, рис. 59, б). При проходном шлифовании за несколько рабочих ходов можно достигнуть точности по 6-му квалитету и  $Ra = 0,2$  мкм.

Врезным шлифованием (рис. 59, б) обрабатывают заготовки круглых деталей с уступами, а также заготовки, имеющие форму конуса. При этом методе оси кругов параллельны или ведущий круг устанавливается под малым углом ( $\alpha = 0,2...0,5^\circ$ ), а осевому перемещению обрабатываемой заготовки препятствует установленный упор.

По аналогии с врезным шлифованием находит применение обработка не шлифовальными кругами, а шлифовальной лентой, закрепляемой на ведущем и ведомом шкивах. Обрабатываемую заготовку также устанавливают на нож.

### 3.3.8. МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ ДЕТАЛЕЙ

К ним относятся различные методы упрочнения и отделочная обработка. Их основной задачей является обеспечение заданного качества поверхностного слоя, которое характеризуется его физико-механическими свойствами и микрогеометрией.

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 ТВЧ);

- химико-термические методы (цементация, азотирование, планирование);
- диффузионная металлизация (диффузионное алитирование, хромирование, силицирование и др.);
- покрытие поверхностей твёрдыми сплавами и металлами (покрытие литыми и порошкообразными сплавами);
- металлизация поверхностей (распыление расплавленным металлом);
- поверхностно-пластическое деформирование.

*Закалка поверхностная* – нагревание электротокотом или газовым пламенем поверхности изделия. Сердцевина изделия после охлаждения остаётся незакалённой. Закалкой получается твёрдая 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 её в твёрдом, газообразном или жидком карбюризаторе, выдержка и последующее охлаждение. Детали после цементации подвергаются закалке для достижения высокой твёрдости 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 твёрдость, износостойчивость и антикоррозийные свойства.

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

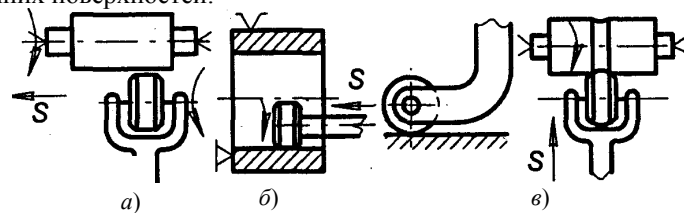
Для придания стали специальных физических и химических свойств (жаростойкости, антикоррозийных свойств и др.) применяют диффузионную металлизацию. Она заключается в нагревании стальной поверхности, контактирующей с металлосодержащей средой, до высокой температуры, насыщении поверхности алюминием (алитирование),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

*Покрытие поверхностей* твёрдыми 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 простых и эффективных технологических путей повышения работоспособности и надёжности изделий машиностроения. В результате ППД повышаются твёрдость и прочность поверхностного слоя, формируются благоприятные остаточные напряжения, уменьшается параметр шероховатости  $R_a$ , увеличиваются радиусы закругления вершин, относительная опорная длина профиля и т.п.

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. 60. Обычно этими способами обрабатывают достаточно жёсткие детали из стали, чугуна и цветных сплавов. На рисунке 60, а показана схема обработки цилиндрических наружных и внутренних поверхностей.



**Рис. 60. Схемы обработки роликом:**  
 а – наружных и внутренних цилиндрических поверхностей;  
 б – плоских поверхностей; в – фасонных поверхностей

Качество обрабатываемой поверхности при обкатывании роликами и шариками в значительной степени зависит от режимов 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-му качеству. Припуск на обработку обычно рекомендуется выбирать равным 0,005...0,02 мм.

Пластическое поверхностное деформирование может быть отделочно-упрочняющей операцией (улучшает шероховатость поверхности и упрочняет поверхностный слой), отделочно-упрочняющей и калибрующей операцией (кроме сказанного выше, повышает точность обработки); отделочно-калибрующей операцией (упрочнения не происходит).

Наряду с изложенными выше способами широко применяют центробежное (инерционное) упрочнение. При этом используется центробежная сила шариков (роликов), свободно сидящих в радиальных отверстиях быстровращающегося диска. Схема центробежной обработки поверхности шариками показана на рис. 61.

арики 2 при вращении диска 3 смещаются в радиальном направлении нанося многочисленные удары по заготовке 1 и пластически деформируя поверхность. Для получения поверхностей с минимальным

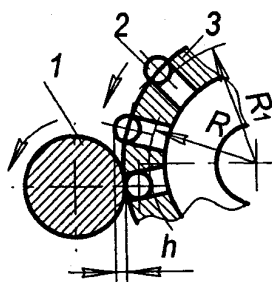


Рис. 61. Схема центробежной обкатки

параметром шероховатости и упрочнённым слоем небольшой глубины применяют алмазное выглаживание. Процесс аналогичен обкатыванию, но инструментом служит кристалл алмаза, находящийся в специальной державке.

К методам пластического деформирования, упрочняющим поверхности деталей, относятся: обработка дробью, гидровиброударная обработка; электромагнитное, ультразвуковое упрочнение и др.

**Отделочная обработка.** На этапе отделочной обработки обеспечиваются повышенные требования к шероховатости поверхности. При этом могут повышаться в небольшой степени точность размеров и формы обрабатываемых поверхностей. К методам отделочной обработки относятся доводка, притирка, суперфиниширование, полирование и пр.

*Абразивная доводка* является окончательным методом обработки заготовок деталей типа тел вращения, обеспечивающим малые отклонения размеров, отклонение формы обрабатываемых поверхностей и  $R_a = 0,16 \dots 0,01$  мкм. Этот метод характеризуется одновременным протеканием механических, химических и физико-химических процессов. Доводку выполняют с помощью ручных притиров или на специальных доводочных станках (рис. 62).

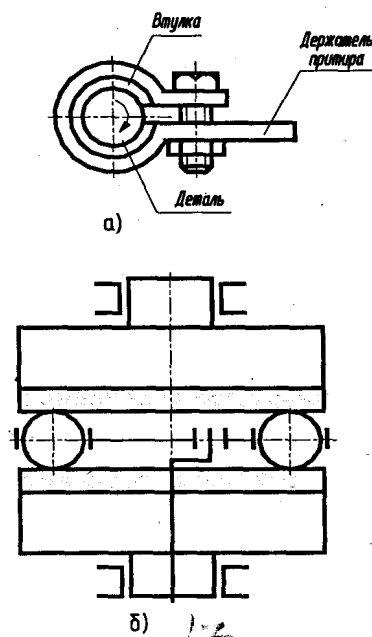


Рис. 62. Схемы доводки:

*а* – с помощью ручных притиров; *б* – на плоскодоводочных станках

В единичном производстве, при ремонте притирку производят на токарном станке притиром в виде втулки, сделанной по размеру притираемой детали, с одной стороны втулка разрезана (рис. 62, *а*).

Втулку смазывают доводочной пастой или тонким слоем мелкого корундового порошка.

Деталь при доводке смазывают жидким машинным маслом или керосином.

Припуск на доводку составляет 5...20 мкм на диаметр. Скорость вращения заготовки  $V_{32} = 10 \dots 20$  м/мин.

В крупносерийном и массовом производстве процесс механизирован и иногда называется лаппингование.

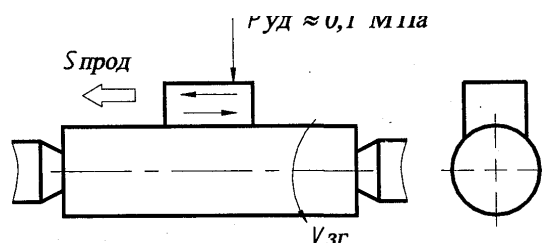
Притирка осуществляется между двумя чугунными (свинцовыми, медными) притирами (рис. 62, *б*).

Диски вращаются в разные стороны. Детали закладываются в сепаратор, закреплённый на кривошипе. Достижимая точность процесса – IT6,  $R_a = 0,05 \dots 0,025$  мкм.

*Суперфиниширование* – отделочная обработка различных поверхностей деталей, в том числе цилиндрических, абразивными брусками (рис. 63). В результате суперфиниширования шероховатость поверхности снижает

ется до  $R_a = 0,1 \dots 0,012$  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).

В простейших схемах обработки на различных станках общего назначения осуществляются следующие движения: вращение заготовки (окружная скорость 0,05...2,5 м/с); возвратно-поступательное движение (колебание инструмента или заготовки – ход 2...6 мм, число двойныхходов 200...1000 в 1 мин); перемещение инструмента вдоль поверхности заготовки. Толщина снимаемого слоя металла 0,005...0,02 мм.



**Рис. 63. Схема суперфиниширования**

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  $K_d = 0,1 \dots 0,012$  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).

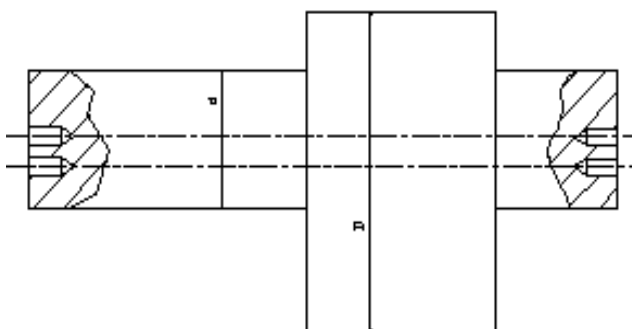
В качестве абразивных материалов применяют электрокорунд, карбиды кремния, бора, окись хрома, железа, алюминия, пасты ГОИ, алмазные и эльборовые шкурки и др.

Более подробные характеристики, типы и области применения абразивных инструментов и шлифовальных материалов приведены в соответствующих справочниках.

### 3.3.9. ОСОБЕННОСТИ ОБРАБОТКИ КУЛАЧКОВЫХ, ЭКСЦЕНТРИКОВЫХ И КОЛЕНЧАТЫХ ВАЛОВ

Кулачковые и эксцентриковые валы выполняют цельными и сборными. Сборными валы изготовляют тогда, когда размеры кулачков и эксцентриков резко отличаются от размеров вала. Кроме того, выполнять валы в этом случае цельными было бы сопряжено с большими затратами металла и времени на обработку резанием. В этом случае кулачки и эксцентрики целесообразнее изготовлять отдельно от вала, закрепляя их затем на валу различными способами.

Цельными кулачковые и эксцентриковые валы изготовляют при малом эксцентриситете с одним, двумя и более эксцентриками (рис. 65). При небольших сериях выпуска заготовки для таких валов получают из круглого проката, диаметр которого устанавливают с учётом припуска на обработку и вписывания размеров всех эксцентриков в окружность заготовки.



**Рис. 64. Схема зацентровки**

Существенными операциями технологического процесса изготовления эксцентриковых валов являются обтачивание и шлифование образующих поверхностей эксцентриков. Для этой цели на торцах предварительно выправленной и подрезанной заготовки засверливают столько пар центровых отверстий, сколько эксцентриков (или пар эксцентриков) расположено на валу (рис. 64). Расстояние центровых отверстий эксцентриков от оси вала определяется эксцентриситетом. Точность эксцентриситета зависит от точности центрования, которое выполняется по разметке или с большей точностью по кондуктору. После обработки опорных шеек вала обрабатывают наружные поверхности эксцентриков, переставляя заготовку на соответствующие центровые отверстия.

Обработку можно выполнить также и при помощи трёхкулачкового самоцентрирующего патрона, подкладывая под один из кулачков пластинки определённой толщины  $T$ , которая определяется по эмпирической формуле:

$$T = 1,5e \left( 1 + \frac{e}{2d} \right),$$

где  $e$  – эксцентриситет, мм;  $d$  – диаметр детали, закрепляемой в патроне, мм.

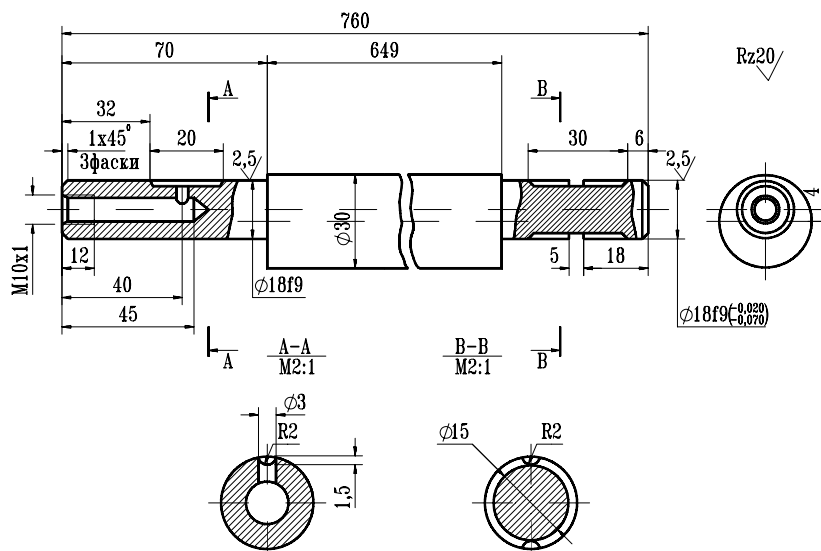


Рис. 65. Эксцентриковый вал

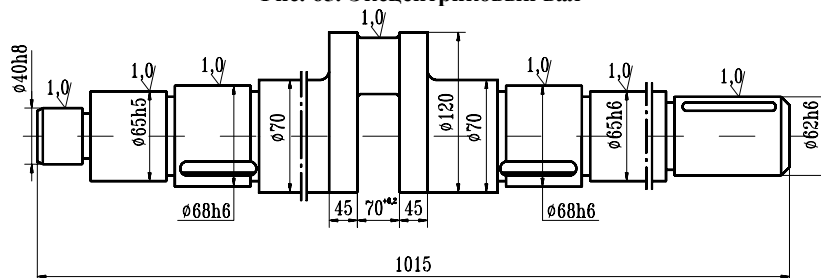


Рис. 66. Коленчатый вал

Коленчатые валы пищевых машин имеют обычно простые конструктивные формы (одноколенные) (рис. 66). Заготовку получают свободной ковкой из круглого проката (сталь 50), затем её подвергают нормализации и производят правку на прессе.

Наиболее существенное требование заключается в обеспечении параллельности шатунной и коренных шеек (допускаемое отклонение составляет 0,02 мм) и точности расположения обеих коренных шеек. Радиальное биение коренных шеек относительно оси коленчатого вала должно быть не более 0,03 мм.

Обработка коленчатого вала при таких высоких требованиях к точности, шероховатости поверхности и уравновешенности коренных и шатунных шеек производится обычно на специальных токарных станках. Станок имеет две приводные бабки, снабжённые делительными механизмами для установки любой шейки вала по оси шпинделей.

Если щёки коленчатых валов очерчиваются каким-либо криволинейным контуром, то их обработка производится на специальных многосуппортных копировальных полуавтоматах. Для шлифования шатунных шеек коленчатых валов применяют шлифовальные станки с такими же патронами и делительными устройствами.

При отсутствии специального оборудования обработка коленчатых валов осуществляется на универсальных токарных и шлифовальных станках с применением приспособлений.

Обработка щёк коленчатых валов по контуру производится строганием, фрезерованием фасонными фрезами (в обоих случаях с предварительной разметкой контура).

### 3.3.10. ОСОБЕННОСТИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ КРУПНОГАБАРИТНЫХ ВАЛОВ

Особенностью изготовления *крупногабаритных валов* (большой длины и веса) являются (рис. 67):

- 1) проверка точности установки "по рискам";

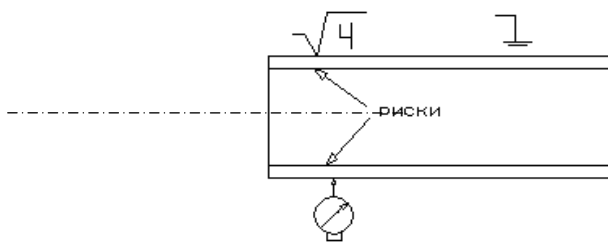


Рис. 67. Схема базирования крупногабаритного вала

- 2) обработка с минимумом установов (оптимально – 1);
- 3) при первом установе один конец заготовки закрепляют в кулачках планшайбы, а второй поджимают центром. При этом обрабатывают шейки под люнет;
- 4) токарную обработку производят, крепя заготовку в кулачки и поддерживая люнетом без центров;
- 5) после каждой переустановки проводят проверку на биение.

### 3.3.11. ТИПОВОЙ МАРШРУТ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ВАЛА

Рассмотрим основные операции механической обработки для изготовления вала с типовыми конструктивными элементами и требованиями к ним.

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 Подготовка технологических баз.

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

- единичном производстве подрезку торцов и центрование на универсальных токарных станках последовательно за два установа;
- серийном производстве подрезку торцов выполняют отдельно от центрования на продольно-фрезерных или горизонтально-фрезерных станках, а центрование – на одностороннем или двустороннем центральном станке. Могут применяться фрезерно-центровальные полуавтоматы последовательного действия с установкой заготовки по наружному диаметру в призмы и базированием в осевом направлении по упору (рис. 68);

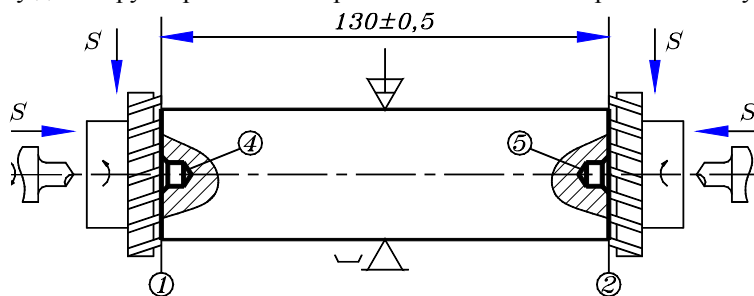


Рис. 68. Пример выполнения фрезерно-центральной операции

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

020 Токарная (черновая).

Выполняется за два установа 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  $R_a = 6,3$ . В зависимости от типа производства операцию выполняют в:

- единичном производстве – на токарно-винторезных станках;
- мелкосерийном – на универсальных токарных станках с гидро-суппортами и станках с ЧПУ;
- серийном – на копировальных токарных станках, горизонтальных многорезцовых, вертикальных одношпиндельных полуавтоматах и станках с ЧПУ;



– крупносерийном и массовом – на многошпиндельных многорезцовых полуавтоматах; мелкие валы могут обрабатываться на токарных автоматах.

025 Токарная (чистовая).

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

030 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 производстве 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.

035 Сверлильная.

Сверление всевозможных отверстий.

040 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). Мелкие резьбы у термообрабатываемых валов получают сразу на резьбо-шлифовальных станках. Внутренние резьбы нарезают машинными метчиками на сверлильных, револьверных и резьбонарезных станках в зависимости от типа производств. Наружные резьбы нарезают в:

- единичном и мелкосерийном производствах на токарно-винторезных станках плашками, резьбовыми резцами или гребёнками;
- мелкосерийном и серийном производствах резьбы не выше 7-й степени точности нарезают плашками, а резьбы 6-й степени точности – резьбонарезными головками на револьверных и болторезных станках;
- крупносерийном и массовом производствах – гребенчатой фрезой на резьбофрезерных станках или накатыванием.

045 Термическая.

Закалка объёмная или местная согласно чертежу детали.

050 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;
- поверхности внутреннего диаметра – шлифование боковых поверхностей шлицев и шлифование внутренних поверхностей по диаметру, либо профильным кругом одновременно, либо в две операции.

### 3.4. ОБРАБОТКА ДЕТАЛЕЙ КЛАССА "ПОЛЫЕ ЦИЛИНДРЫ" (ВТУЛКИ)

#### 3.4.1. ХАРАКТЕРИСТИКА ВТУЛОК

К деталям класса втулок относятся втулки, гильзы, стаканы, вкладыши, т.е. детали, образованные наружными и внутренними поверхностями вращения, имеющие общую прямолинейную ось.

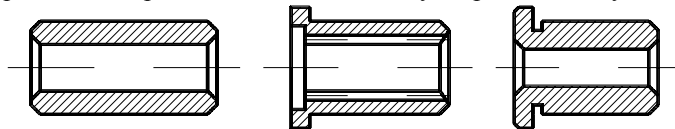


Рис. 69. Разновидности деталей типа втулок

Некоторые основные вицы подшипниковых втулок, представленные на рис. 69, служат как опоры вращающихся валов. Наиболее часто применяют втулки с  $L/D \geq 3$ .

**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 определённой 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 нагрузке на торцы отклонения от перпендикулярности не должно превышать 0,02...0,03 мм.

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

### 3.4.2. МАТЕРИАЛЫ И ЗАГОТОВКИ ДЛЯ ВТУЛОК

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 литьё и литьё под давлением. Заготовкой для рассматриваемой детали является штамповка, полученная на горизонтально-ковочной машине.

### 3.4.3. ОСНОВНЫЕ СХЕМЫ ОБРАБОТКИ

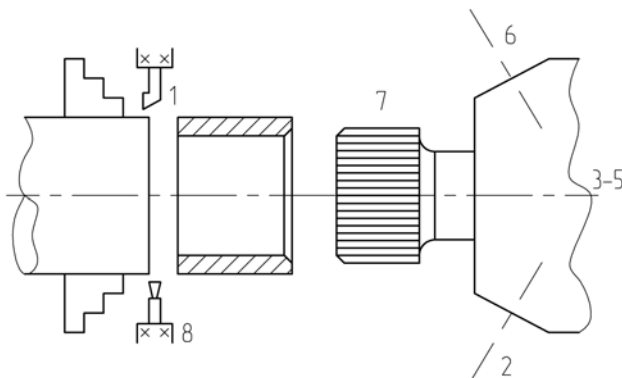
Основная технологическая задача при обработке втулок и дисков заключается в достижении концентричности наружных поверхностей отверстию и перпендикулярности торцов к оси отверстия. Существуют три схемы получения концентричности наружных поверхностей отверстию и перпендикулярности торцов к его оси при обработке втулок и дисков: 1) обработка наружных поверхностей отверстия и торца за один установ; 2) первоначальная обработка внутренней поверхности и базирование по ней на оправке при обработке наружной поверхности и торцов; 3) первоначальная обработка наружной поверхности и базирование по ней при обработке внутренней поверхности и торцов.

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 развёртывание, окончательное развёртывание, отрезка. Эта первая операция выполняется на токарно-револьверном станке, одношпиндельном или многошпиндельном токарном автомате (рис. 70);

- 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.



**Рис. 70. Схема обработки на токарно-револьверном станке**

При обработке втулки с базированием по внутренней поверхности рекомендуется следующий технологический маршрут обработки втулки:

- зенкерование отверстия втулки и снятие фаски в отверстии на вертикально-сверлильном станке (технологическая база – наружная поверхность);
- протягивание отверстия на горизонтально-протяжном станке со сферической самоустанавливающейся шайбой, которую применяют, потому что торец не обработан;
- предварительное обтачивание наружной поверхности (в зависимости от точности заготовки), подрезка торцов и снятие наружных (а часто и внутренних) фасок на токарно-многолезцовом полуавтомате). Базирование осуществляется по внутренней поверхности на разжимную оправку;
- чистовое обтачивание наружной поверхности, чистовая подрезка торца.

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

- при обработке на жёсткой или разжимной оправке погрешность установки отсутствует или значительно меньше, чем при обработке в патроне с креплением заготовки по наружной поверхности;
- более простое, точное и дешёвое центрирующее устройство, чем патрон;

- при использовании оправки может быть достигнута высокая степень концентрации обработки.

### 3.4.4. МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ ВНУТРЕННИХ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

Внутренние цилиндрические поверхности (отверстия) встречаются у большинства деталей как тел вращения, так и не тел вращения. Обработка отверстий в деталях различных типов производится путём сверления, зенкерования, фрезерования на станках с ЧПУ, растачивания резцами, развёртывания, шлифования (внутреннего), протягивания, хонингования, раскатывания шариками и роликами, продавливания, притирки, полирования, суперфиниширования. Обработка отверстий со снятием стружки производится лезвийным и абразивным инструментом. К лезвийным инструментам относятся: свёрла, зенкеры, развёртки, расточные резцы и протяжки. Разновидности и характеристики этих инструментов приведены в справочнике. Обработку отверстий лезвийным инструментом производят на станках следующих групп: сверлильной (вертикально-сверлильные, радиально-сверлильные); расточной (горизонтально-расточные, горизонтальные и вертикальные отделочно-расточные координатно-расточные); протяжной группы (горизонтальные и вертикальные полуавтоматы), как обычного исполнения, так и с ЧПУ. Кроме того, отверстия обрабатываются практически на всех станках, полуавтоматах и автоматах токарной группы.

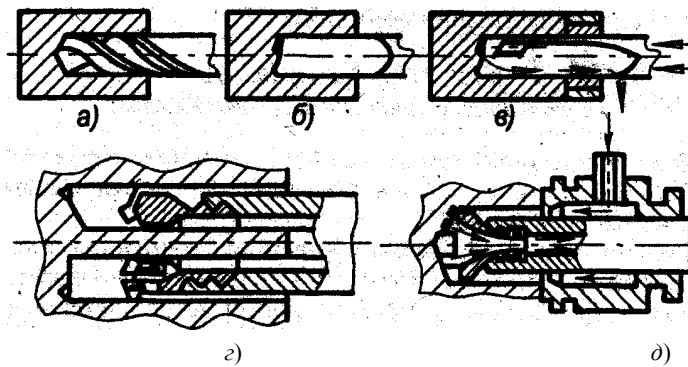
**Сверлением** получают отверстия в сплошном материале (рис. 71). Для неглубоких отверстий используются стандартные свёрла диаметром 0,30...80 мм.

Существуют два метода сверления:

- 1) вращается сверло (станки сверлильно-расточных групп);
- 2) вращается заготовка (станки токарной группы).

Обработку отверстий диаметром до 25.. 40 мм осуществляют спиральными свёрлами за один переход (рис. 71, а), при обработке отверстий больших диаметров (до 80 мм) – за два и более перехода сверлением и рассверливанием или другими методами. Для сверления отверстий диаметром свыше 80 мм применяют свёрла или сверлильные головки специальных конструкций. На многих корпусных деталях, фланцах, крышках имеется много небольших отверстий (для крепёжных болтов, шпилек), точность и шероховатость которых определяется точностью, достигаемой сверлением. Такие отверстия обрабатывают на станках с применением кондукторов. При этом достигаемая точность диаметральных размеров – IT11...IT10. При обработке глубоких отверстий ( $L/D > 10$ ) трудно обеспечить направленность оси отверстия относительно её внутренней цилиндрической поверхности. Чем больше длина отверстия, тем больше увод инструмента. Для борьбы с уводом сверла или искривлением оси отверстия применяются следующие способы:

- применение малых подач, тщательная заточка сверла;
- применение предварительного засверливания (зацентровки);



**Рис. 71. Схемы обработки отверстий свёрлами:**

а – спиральным; б – полукруглым; в – ружейным одностороннего резания с внешним отводом СОЖ; г – трепанирующим (кольцевым); д – ружейным с внутренним отводом СОЖ

- сверление с направлением спирального сверла с помощью кондукторной втулки;
- сверление вращающейся заготовки при невращающемся или вращающемся сверле. Это самый радикальный способ устранения увода сверла, так как создаются условия для самоцентрирования сверла;
- сверление специальными свёрлами при вращающейся или неподвижной заготовке.

К специальным свёрлам относятся:

- полукруглые (рис. 71, б) – разновидность ружейных свёрл одностороннего резания, которые применяются для обработки заготовок из материалов, дающих хрупкую стружку (латунь, бронза, чугун);
- ружейные – одностороннего резания с внешним отводом СОЖ (рис. 71, в) и внутренним отводом (эжекторные) (рис. 71, д) с пластинами из твёрдого сплава (припаянными или неперетачиваемыми с механическим креплением), предназначенные для высокопроизводительного сверления;
- трепанирующие (кольцевые) свёрла (рис. 71, г) для сверления отверстий диаметром 80 мм и более, длиной до 50 мм;

Они вырезают в сплошном металле кольцевую поверхность, а остающуюся после такого сверления внутреннюю часть в форме цилиндра можно использовать как заготовку для изготовления других деталей.

*Зенкерование отверстий* – предварительная обработка литых, штампованных или просверленных отверстий под последующее развёртывание, растачивание или протягивание. При обработке отверстий по 13 – 11-му качеству зенкерование может быть окончательной операцией. Зенкерованием обрабатывают цилиндрические углубления (под головки винтов, гнезд под клапаны и др.), торцовые и другие поверхности.

Режущим инструментом при зенкеровании является зенкер. Зенкеры изготавливают цельными с числом зубьев 3...8 и более, диаметром 3...40 мм; насадными, диаметром 32...100 мм и сборными регулируемые, диаметром 40...120 мм. Зенкерование является производительным методом: повышает точность предварительно обработанных отверстий, частично исправляет искривление оси после сверления. Для повышения точности обработки используют приспособления с кондукторными втулками. Зенкерованием обрабатывают сквозные и глухие отверстия. Зенкеры исправляют, но не устраняют полностью оси отверстия, достигаемая шероховатость  $R_a = 12,5...6,3$  мкм.

*Развёртывание отверстий* – чистовая обработка отверстий с точностью до 7-го качества. Развёртыванием обрабатывают отверстия тех же диаметров, что и при зенкеровании. Развёртки рассчитаны на снятие малого припуска. Они отличаются от зенкеров большим числом (6...14) зубьев. Развёртыванием достигается высокая точность диаметральных размеров и формы, а также малая шероховатость поверхности. Следует отметить, что обработанное отверстие получается несколько большего диаметра, чем диаметр самой развёртки. Такая разбивка может составлять 0,005...0,08 мм. Для получения отверстий 7 качества применяют двукратное развёртывание; ПТ6 – трёхкратное, под окончательное развёртывание припуск оставляют 0,05 мм и менее. Для развёрток из твёрдых сплавов рекомендуются следующие режимы: для чугуна –  $V = (7...20)$  м/мин;  $S = (2...7)$  мм/об;  $t = 0,15$  мм, в качестве СОЖ используется керосин, (достигаемая точность размеров ПТ6; шероховатость  $R_a = 1,6$  мкм); для стали –  $V = (4...10)$  м/мин;  $S = (2...4)$  мм/об;  $t = (0,1...0,15)$  мм (при использовании СОЖ по точности достигаются те же результаты, что и при обработке чугунных заготовок). Развёртки обычно не применяют для развёртывания больших по диаметру, коротких, глухих и прерывистых отверстий.

В настоящее время имеется целый ряд приёмов и методов, повышающих производительность труда при обработке отверстий:

- применение комбинированных режущих инструментов (рис. 72);
- применение специальных приспособлений (кондукторов) и многошпиндельных сверлильных головок на сверлильных, расточных и агрегатных станках.

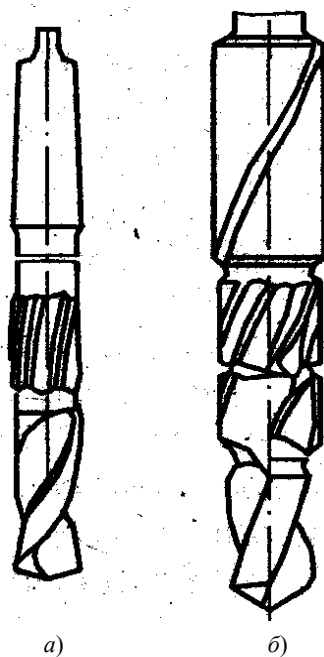


Рис. 72. Сверло-развёртка (а) и сверло-зенкер-развёртка (б)

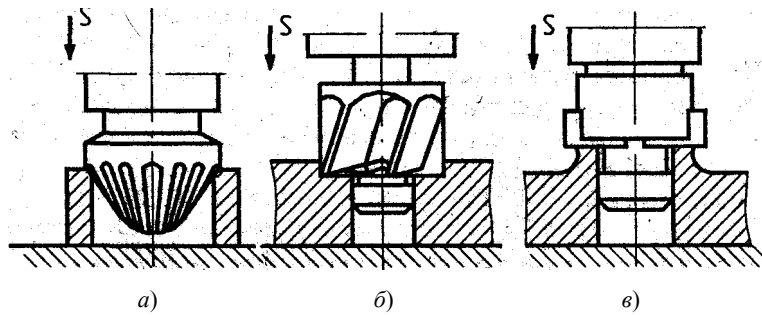


Рис. 73. Обработка вспомогательных элементов в отверстиях

Фаски в отверстиях обрабатываются зенковками (рис. 73, а). Цилиндрические углубления и торцевые поверхности под головки болтов и гаек выполняются на сверлильных станках цековками в виде насадных головок с четырьмя зубьями (рис. 73, б) или в виде специальных пластин (рис. 73, в) с направляющей цапфой, служащей для получения соосности с обработанными отверстиями.

**Растачивание основных отверстий** (определяющих конструкцию детали) производится на: горизонтально-расточных, координатно-расточных, радиально-сверлильных, карусельных и агрегатных станках, многоцелевых обрабатывающих центрах, а также в некоторых случаях и на токарных станках. Существуют два основных способа растачивания: растачивание, при котором вращается заготовка (на станках токарной группы), и растачивание, при котором вращается инструмент (на станках расточной группы).

Типичными для токарных станков операциями являются растачивание одиночного отверстия и растачивание соосных отверстий универсальным методом и резцом (резцами).

Типичными для расточных станков операциями являются растачивание одиночного отверстия, соосных отверстий и растачивание отверстий с параллельными осями. Существуют три основных способа растачивания отверстий на горизонтально-расточных станках:

- 1) растачивание консольными оправками (рис. 74, а);
- 2) растачивание борштангами-скалками использованием опоры задней стойки (рис. 74, б);
- 3) растачивание в кондукторах при шарнирном соединении расточных справок со шпинделем станка (рис. 74, в).

Растачивание борштангами с использованием задней опоры, стойки (способ 2) применяется при изготовлении крупных тяжёлых деталей, имеющих отверстия в противоположных стенках или при обработке отверстий, имеющих длину, значительно превышающую их диаметры. В этом случае опора задней стойки и шпиндель должны быть соосны. Выверка производится в вертикальной и горизонтальной плоскостях, при этом значительно возрастает вспомогательное время.

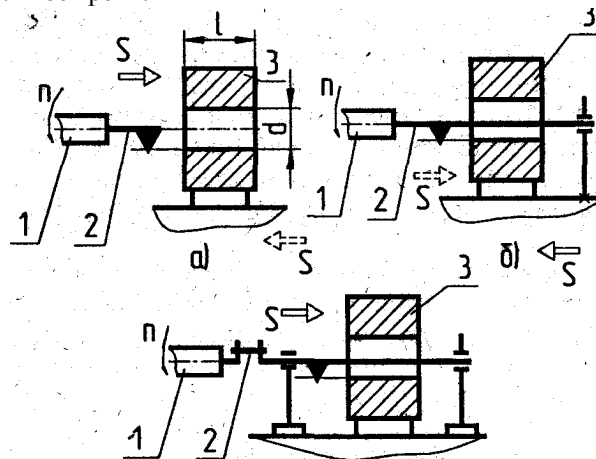


Рис. 74. Схемы растачивания отверстий на горизонтально-расточных станках:

- а – консольными оправками; б – борштангами с опорой на заднюю стойку; в – борштангами, установленными в кондукторе

Растачивание борштангой с передним и задним направлением (способ 3) производится с помощью кондукторного приспособления, обеспечивающего двойное направление инструмента и полностью определяющего относительное положение инструмента и заготовки. Инструмент или оправка в этом случае соединяются со

станком шарнирно. При этом не требуется точного относительного положения шпинделя и направляющих элементов приспособления, что приводит к сокращению времени на настройку.

Протягивание отверстий применяют в массовом, крупносерийном и серийном производствах. Протягивание является одним из прогрессивных способов обработки металлов резанием и в отношении производительности и достигаемых точности и шероховатости. По сравнению с развёртыванием, например, протягивание производительнее в 8–9 раз и выше. Протягивание осуществляется многолезвийным инструментом протяжкой, которая протягивается через обрабатываемое отверстие (рис. 74). Внутренним протягиванием обрабатывают различные отверстия: круглые (цилиндрические), шлицевые, многогранные и др. При протягивании на протяжных станках заготовку устанавливают на жёсткой или шаровой опоре, если торец детали не перпендикулярен оси отверстия. Для протягивания применяют горизонтальные и вертикальные протяжные станки-полуавтоматы. Горизонтальные протяжные полуавтоматы применяются для внутреннего протягивания. Вертикальные полуавтоматы используют как для внутреннего, так и наружного протягивания; они занимают в 2–3 раза меньше площади, чем горизонтальные. Припуск под протягивание при обработке цилиндрических отверстий составляет 0,5...1,5 мм на диаметр отверстия. Прошиванием называют аналогичную протягиванию обработку более коротким инструментом – прошивкой. При прошивании инструмент испытывает напряжения сжатия, а при протягивании – растяжения, поэтому прошивку выполняют относительно небольшой длины (250...400 мм).

Для обработки отверстий применяют внутреннее шлифование, хонингование, притирку.

Внутреннее шлифование применяют для окончательной обработки отверстий закалённых деталей или в тех случаях, когда невозможно применить другие, более производительные методы обработки. Оно осуществляется на внутришлифовальных станках и бесцентрово-внутришлифовальных автоматах. Отверстия обрабатывают на проход и методом врезания (короткие отверстия). Внутреннее шлифование имеет свои технологические особенности. Диаметр абразивного круга выбирают наибольший, допустимый диаметром обрабатываемого отверстия ( $d_{кр} = (0,8...0,9) d_{отв}$ ). Высоту (ширину) круга принимают в зависимости от длины обрабатываемого отверстия ( $l_{кр} = 0,8 l_{дет}$ ). Чистовым шлифованием обеспечивается точность размеров отверстий IT6–IT7; шероховатость поверхности  $R_a = 0,8...3,2$  мкм. При длительном выхаживании достигается  $R_a = 0,4$  мкм. Для внутреннего шлифования рекомендуются следующие режимы:

- для чугуна –  $V_{кр} = 20...30$  м/с;
- для стали –  $V_{кр} = 30...45$  м/с;
- $V_{заг} = (0,015...0,03) V_{кр}$ ;
- $S_{пр} = (0,2...0,3) b$  – чистовое шлифование;
- $S_{пр} = (0,6...0,8) b$  – черновое шлифование.

Припуски на шлифование отверстий зависят от диаметра отверстия и его длины и рекомендуются 0,07...0,25 мм для диаметра до 30 мм; 0,18...0,75 для диаметра до 250 мм. Наиболее распространённым методом является шлифование на проход с продольным движением подачи. Это шлифование обеспечивает точность размеров, формы и, при соответствующем базировании, точность взаимного расположения обработанных поверхностей.

Различают три основных вида внутреннего шлифования (рис. 75): во вращающейся заготовке; в неподвижной заготовке (планетарное); бесцентровое.

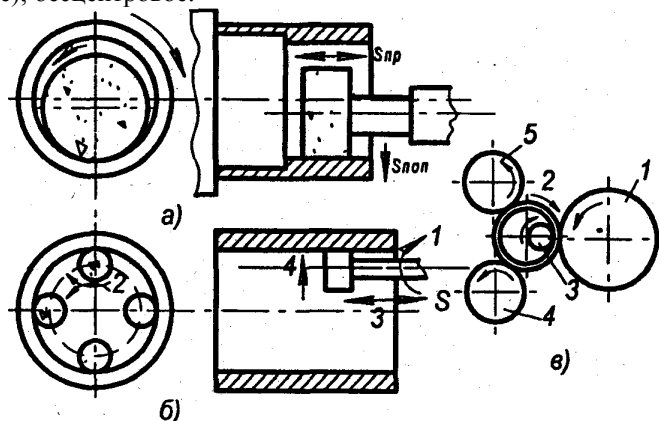


Рис. 75. Виды внутреннего шлифования:

а – во вращающейся заготовке; б – планетарное; в – бесцентровое

Шлифование отверстия во вращающейся заготовке (рис. 75, а) осуществляется так же, как шлифование наружных поверхностей тел вращения. Наиболее распространённые схемы шлифования отверстий во вращающейся заготовке приведены на рис. 76.

Для шлифования торца детали после шлифования отверстия в ней целесообразно пользоваться станками, имеющими, помимо круга для шлифования отверстия, круг для шлифования торца (рис. 76, з). Это обеспечивает

соблюдение строгой перпендикулярности торцевой поверхности и оси отверстия за счёт обработки за один установ.

Шлифование отверстия в неподвижной заготовке применяют при обработке отверстий в крупных заготовках, которые трудно вращать (рис. 75, б). При этом методе заготовка устанавливается на стол станка и остаётся неподвижной во время обработки. Шпиндель и шлифовальный круг имеют четыре движения: 1 – вращение вокруг своей оси; 2 – планетарное движение по окружности внутренней поверхности заготовки; 3 – возвратно-поступательное движение вдоль оси заготовки; 4 – поперечное перемещение (поперечное движение подачи). Этот метод менее производителен, чем первый.

При внутреннем бесцентровом шлифовании (рис. 76, б) базой для установки заготовки служит наружная, предварительно обработанная поверхность. Обработка происходит следующим образом. Заготовка 2 направляется и поддерживается тремя роликами. Ролик 1 (большого диаметра) является ведущим; он вращает заготовку и в то же время удерживает её от возможного вращения с большой скоростью под действием шлифовального круга 3. Верхний нажимной ролик 5 прижимает заготовку к ведущему ролику 1 и нижнему поддерживающему ролику 4. Заготовка, зажата между тремя роликами, вращается с той же скоростью, что и ведущий ролик 1. При смене заготовки ролик 5 отходит, освобождая заготовку и позволяя вставить вручную или автоматически новую заготовку.

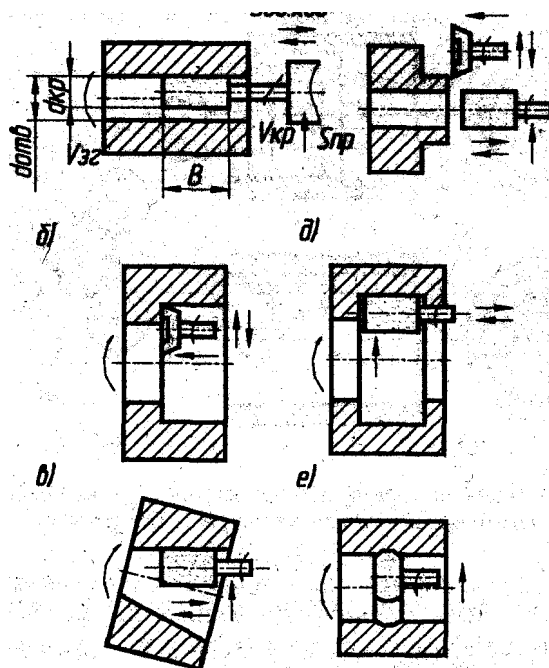
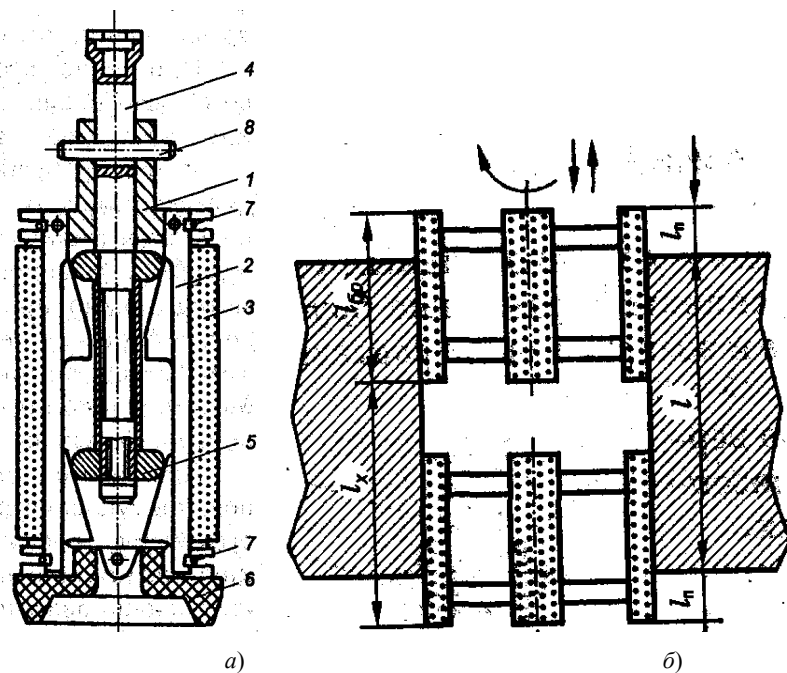


Рис. 76. Примеры внутреннего шлифования при вращающейся заготовке

*Хонингование* является одним из методов отделочной обработки отверстий. Процесс осуществляется с помощью хонинговальных головок (хонов) со вставными абразивными брусками. Хонингование выполняется на специальных станках, которые подразделяют на две группы: вертикально-хонинговальные и горизонтально-хонинговальные. Хонинговальная головка совершает совмещённое движение: вращательное и возвратно-поступательное при постоянном давлении абразивных брусков на обрабатываемую поверхность в среде смазочно-охлаждающей жидкости (рис. 77). В процессе хонингования абразивные бруски удаляют слой металла толщиной 0,3...0,5 мкм; за один двойной рабочий ход при общем припуске 0,01...0,07 мм для стали и 0,02...0,20 мм для чугуна. При этом снимаются как микронеровности, оставшиеся после предыдущей операции, так и некоторая часть основного металла, что позволяет устранять конусообразность, овальность, бочкообразность. Предварительная обработка отверстий под хонингование может быть выполнена растачиванием, зенкерованием, развёртыванием или шлифованием и должна обеспечивать точность обработки не ниже, чем по 7–8-му качеству и  $R_a = 6,3...3,2$  мкм.

*Притирка* (доводка, внутренних поверхностей). Этот метод аналогичен притирке наружных цилиндрических поверхностей. Притирка и хонингование, в отличие от внутреннего шлифования, не исправляют погрешностей расположения, так как обрабатывающий инструмент базируется по обрабатываемой поверхности.



**Рис. 77. Хонингование:**

*a* – схема хонинговальной головки: 1 – корпус, 2 – колодки, 3 – абразивные круги, 4 – стержень, 5 – нажимная шайба, 6 – конус, 7 – круговые пружины, 8 – палец; *б* – схема вертикального перемещения брусков хонинговальной головки:  $l_{ор}$  – длина бруска,  $l$  – длина отверстия заготовки,  $l_n$  – переборг брусков,  $l_x$  – длина рабочего хода брусков

### 3.4.5. ТИПОВЫЕ МАРШРУТЫ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ВТУЛОК

Рассмотрим основные операции механической обработки для изготовления втулки с типовыми конструктивными элементами и требованиям к ним.

#### 1. Обработка за один установ

##### 005 Токарная

Подрезка торца у прутка, подача прутка до упора, зацентровка торца под сверление, сверление отверстия, точение черновое наружной поверхности со снятием фасок на свободном торце, точение канавок, предварительное развёртывание, окончательное развёртывание, отрезка. При обработке втулки из трубы вместо сверления производят зенкерование или растачивание отверстия. Выполняется на токарно-револьверном, одношпиндельном или многошпиндельном токарном автомате.

##### 010 Сверлильная

Снятие фасок с противоположного торца втулки на вертикально-сверлильном или токарном станке.

##### 015 Сверлильная

Сверление отверстий, нарезка резьбы на вертикально или радиально-сверлильном станке.

##### 020 Контрольная

#### 2. Обработка за два установка

##### 005 Заготовительная

Резка заготовки из проката или трубы или штамповка.

##### 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 к 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. В зависимости от типа производства операция выполняется:

- в единичном производстве – на токарно-винторезных станках;
- в серийном – на токарно-револьверных станках и станках с ЧПУ;
- в массовом – на токарно-револьверных, одношпиндельных или многошпиндельных токарных полуав-



томатах.

*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 торца на круглошлифовальном или торцекруглошлифовальном станках.

*035 Контрольная*

При обработке тонкостенных втулок (толщина стенки менее 5 мм) возникает дополнительная задача закрепления заготовки на станке без её деформаций.

### **3.5. ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДИСКОВ И ФЛАНЦЕВ**

К деталям класса "диски" относятся детали, образованные наружными и внутренними поверхностями вращения, имеющими одну общую прямолинейную ось при отношении длины цилиндрической части к наружному диаметру менее 0,5. Например: шкивы, фланцы, крышки подшипников, кольца, поршни и т.д.

Технологические задачи – аналогичные классу втулок: достижение concentричности внутренних и наружных цилиндрических поверхностей и перпендикулярность торцов к оси детали.

#### **3.5.1. ТИПОВЫЕ МАРШРУТЫ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДИСКОВ**

Основные схемы базирования. Технологические базы – центральное отверстие и обработанный торец, причём 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. Крупные шкивы и маховики – на токарных карусельных станках. При обработке на карусельных станках установку на первой операции выполняют по ступице, в которой обрабатывается центральное отверстие и прилегающие к ней торцы. Обод обрабатывают при установке шкива на центрирующий палец по обработанному отверстию и торцу (рис. 78).

**Типовой маршрут изготовления дисков**

*005 Заготовительная*

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

*010 Токарная*

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

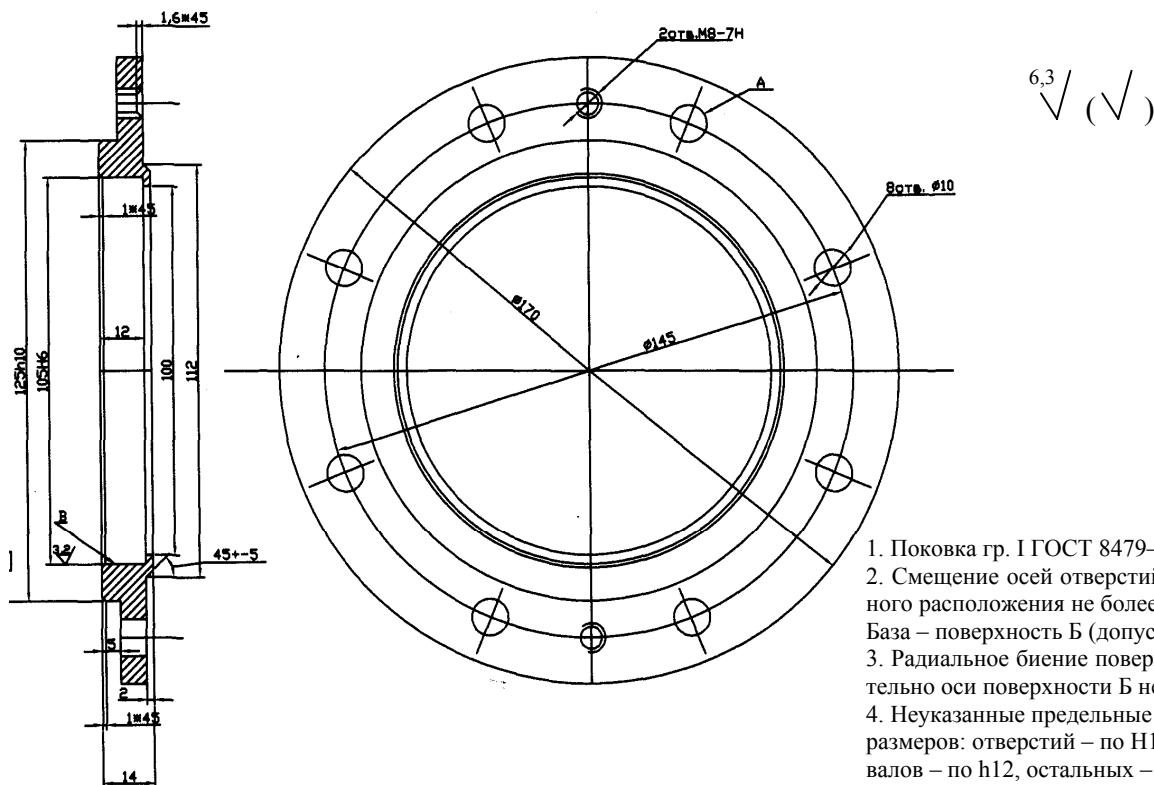


Рис. 78. Фланец

1. Поковка гр. I ГОСТ 8479–70.
2. Смещение осей отверстий А от номинального расположения не более – 0,25 мм. База – поверхность Б (допуск зависимый).
3. Радиальное биение поверхности В относительно оси поверхности Б не более 0,05 мм.
4. Неуказанные предельные отклонения размеров: отверстий – по Н12, валов – по h12, остальных – по Js12/2.

**015 Токарная**

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

**020 Протяжная**

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

**025 Протяжная или долбёжная**

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

**030 Токарная (черновая)**

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

**035 Токарная (чистовая)**

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

**040 Сверлильная**

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

**045 Балансировочная**

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

**050 Шлифовальная**

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

**055 Контрольная**

**060 Нанесение антикоррозионного покрытия.**

### 3.5.2. ТИПОВОЙ МАРШРУТ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ФЛАНЦЕВ

Основным служебным назначением фланцев является ограничение осевого перемещения вала, установленного на подшипниках. Отсюда следует, что основными конструкторскими базами фланца будут поверхно-

сти центрирующего пояса по размеру отверстия в корпусе и торцы. Поскольку в качестве технологических баз при обработке заготовки целесообразно выбирать основные базы детали, то исходя из этого следует, что на первых операциях обрабатывают основные базы. 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 пояса и его торец. На этих же базах обрабатывают крепежные отверстия и лыски, если они заданы чертежом.

#### 005 Заготовительная

В зависимости от типа производства и материала – лить, ковать, штамповать заготовку или отрезать из проката.

#### 010 Токарная

Подрезать торец большого фланца и торец центрирующего пояса, точить наружную цилиндрическую поверхность пояса с припуском под шлифование, точить канавку и фаски. *Технологическая база* – наружная поверхность и торец фланца. Станок токарный, многошпиндельный токарный полуавтомат, токарный с ЧПУ.

#### 015 Токарная

Подрезать второй торец большого фланца, точить его наружную поверхность и фаску. *Технологическая база* – поверхность центрирующего пояса и его торец.

#### 020 Сверлильная

Сверлить и зенковать отверстия. *Технологическая база* – та же. Станок вертикально-сверлильный, сверлильный с ЧПУ, агрегатно-сверлильный с многошпиндельной головкой.

#### 025 Фрезерная

Фрезеровать фланец с лысками. *Технологическая база* – та же плюс крепежное отверстие. Станок – вертикально-фрезерный.

#### 030 Шлифовальная

Шлифовать наружную поверхность центрирующего пояса и торец. *Технологическая база* – наружная поверхность большого фланца и торец. Станок – универсально-шлифовальный или торцециркулошлифовальный.

#### 035 Контрольная.

## 3.6. ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ЗУБЧАТЫХ КОЛЁС

### 3.6.1. ХАРАКТЕРИСТИКА ЗУБЧАТЫХ КОЛЁС

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.

Зубчатые передачи, используемые в различных механизмах и машинах, делят на цилиндрические, конические, червячные, смешанные и гиперболические (винтовые и гипоидные).

Наибольшее распространение получили цилиндрические, конические и червячные передачи (рис. 79). Ниже рассмотрены способы формообразования зубьев цилиндрических зубчатых колёс. Цилиндрические зубчатые колеса изготавливают с прямыми и косыми зубьями, резе – с шевронными. Стандарт устанавливает 12 степеней точности цилиндрических зубчатых колёс (в порядке убывания точности): с 1 по 12.

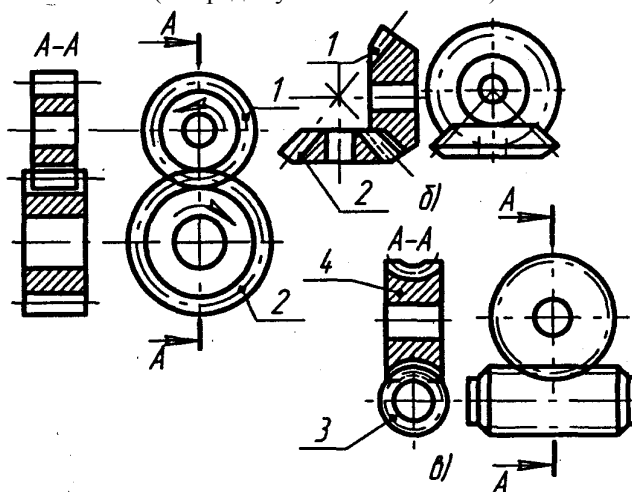


Рис. 79. Виды зубчатых передач:

а – цилиндрическая; б – коническая; в – червячная;

1 – шестерня; 2 – зубчатое колесо; 3 – червяк; 4 – червячное колесо

По технологическому признаку зубчатые колёса делятся на (рис. 80):

– цилиндрические и конические без ступицы и со ступицей, с гладким или шлицевым отверстием;

- многовенцовые блочные с гладким или шлицевым отверстием;
- цилиндрические, конические и червячные типа фланца;
- цилиндрические и конические с хвостовиком;
- валы-шестерни.

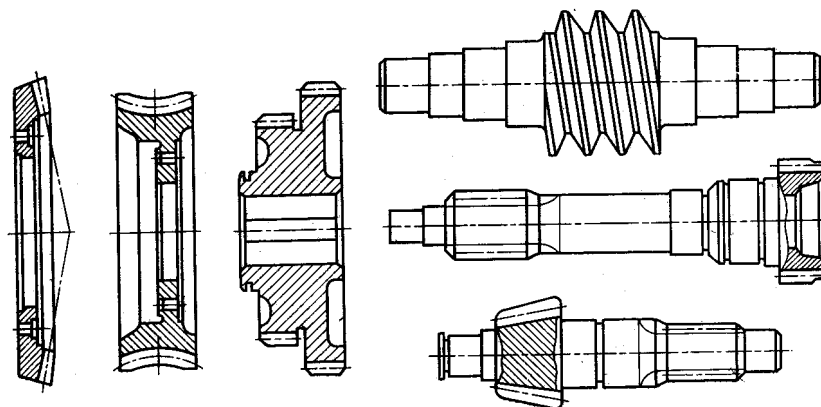


Рис. 80. Виды зубчатых колёс

У цилиндрических колёс зубья выполняют прямыми, спиральными или шевронными.

Обработка зубчатых колёс разделяется на два этапа: обработку до нарезания зубьев и обработку 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.

#### Технологические задачи.

*Точность размеров.* Самым точным элементом зубчатого колеса является отверстие, которое выполняется обычно по 7-му квалитету, если нет особых требований.

*Точность взаимного расположения.* Несоосность начальной окружности зубчатого колеса относительно посадочных поверхностей допускается не более 0,05...0,1 мм. Неперпендикулярность торцов к оси отверстия или вала (биение торцов) обычно принимается не более 0,01...0,015 мм на 100 мм диаметра. В зависимости от условий работы колеса эта величина может быть повышена или несколько уменьшена (рис. 81).

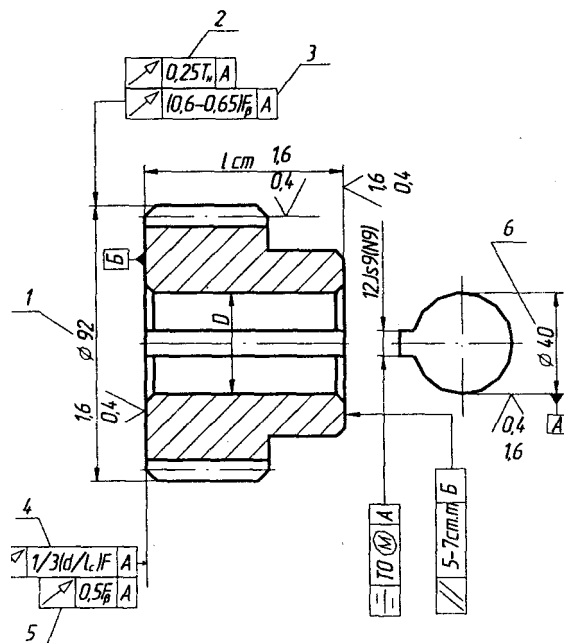


Рис. 81. Зубчатое колесо с типовыми требованиями к точности его изготовления

*Твёрдость рабочих поверхностей.* В результате термической обработки поверхностная твёрдость зубьев цементруемых зубчатых колёс должна быть в пределах HRCэ 45...60 при глубине слоя цементации 1..2 мм. При цианировании твёрдость HRCэ 42...53, глубина слоя должна быть в пределах 0,5...0,8 мм.

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

### 3.6.2. МАТЕРИАЛЫ И ЗАГОТОВКИ ДЛЯ ЗУБЧАТЫХ КОЛЁС

Различают основные виды заготовок зубчатых колёс 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 закреплённых 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 большее преимущество перед штамповкой на молотах: получается точная штамповочная заготовка, припуски и напуски меньше на 30 %, по конфигурации заготовка ближе к готовой детали. На прессах можно штамповать с прошиванием отверстий.

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

### 3.6.3. ОСНОВНЫЕ СХЕМЫ БАЗИРОВАНИЯ

Выбор базовых поверхностей зависит от конструктивных форм зубчатых колёс и технических требований. У колёс 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 колёс 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 "чёрные" поверхности. После обработки отверстия и торца их принимают в качестве технологической базы на большинстве операций. Колёса 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.

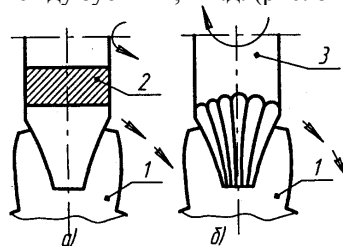
Для обеспечения наилучшей концентричности поверхностей вращения колеса применяют следующие варианты базирования. При обработке штампованных и литых заготовок на токарных станках за одну установку заготовку крепят в кулачках патрона за чёрную поверхность ступицы или чёрную внутреннюю поверхность обода.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

### 3.6.4. ОСНОВНЫЕ МЕТОДЫ ФОРМООБРАЗОВАНИЯ ЗУБЬЕВ ЗУБЧАТЫХ КОЛЁС

В зависимости от способа образования зубьев различают два метода зубонарезания: копирование и обкатку. Оба метода используют на различных зубообрабатывающих станках.

*Нарезание зубчатых колёс методом копирования.* Распространённой разновидностью метода копирования является зубофрезерование. Зубофрезерование осуществляется на зубофрезерных вертикальных и горизонтальных станках-полуавтоматах. На зубофрезерных станках производят нарезание цилиндрических зубчатых колёс по методу обкатки или копирования.

Нарезание зубьев по методу копирования осуществляют модульной дисковой или модульной концевой фрезой. Нарезание, по существу, представляет собой разновидность фасонного фрезерования. Режущие кромки зубьев дисковой или концевой фрезы изготавливают по форме впадины между зубьями колеса, и при фрезеровании они копируют форму впадины, создавая, таким образом, две половины профилей двух соседних зубьев. После нарезания одной впадины заготовка поворачивается на один зуб с помощью делительного механизма, и фреза снова проходит по новой впадине между зубьями, и т.д. (рис. 82).



**Рис. 82. Схемы фрезерования цилиндрических колёс методом копирования:**

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

В массовом производстве применяют зубодолбежные резцовые головки, работа которых основана на методе копирования. Производительность такого метода очень высока, точность зависит от точности резцовой головки.

Другой разновидностью нарезания зубчатых колёс методом копирования является протягивание как наружных, так и внутренних зубчатых поверхностей, характеризующееся высокой производительностью.

*Нарезание зубчатых колёс методом обкатки.* При методе обкатки заготовка и инструмент воспроизводят движение пары сопряжённых элементов зубчатой или червячной передачи. Для этого либо инструменту придаётся форма детали, которая могла бы работать в зацеплении с нарезаемым колесом (зубчатое колесо, зубчатая рейка, червяк), либо инструмент выполняют таким образом, чтобы его режущие кромки описывали в пространстве поверхность профиля зубьев некоторого зубчатого колеса или зубчатой рейки, которые называют соответственно производящим колесом или производящей рейкой. В процессе взаимного обкатывания заготовки и инструмента режущие кромки инструмента, постепенно удаляя материал из нарезаемой впадины заготовки, образуют на ней зубья.

Нарезание зубьев цилиндрических зубчатых колёс методом обкатки производится с помощью следующих инструментов: червячных фрез (зубофрезерование); дисковых долбяков (зубодолбление) и долбяков в виде гребёнок-реек (зубострогание).

*Зубонарезание червячными фрезами.* Для нарезания зубьев этим методом требуются универсальные зубофрезерные станки и специальный режущий инструмент – червячные фрезы. Станки выпускают с вертикальной или горизонтальной осями вращения фрезы. Метод является высокопроизводительным.

Фрезу на станке устанавливают таким образом, чтобы её ось была повернута под углом  $\beta$  подъёма винтовой линии витков фрезы (рис. 83)

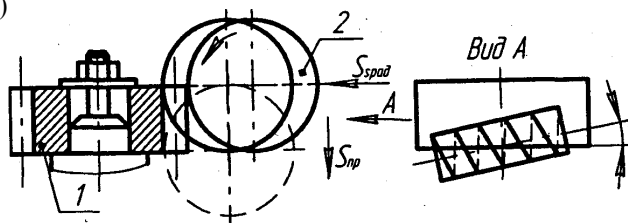


Рис. 83. Схема фрезерования зубьев червячной фрезой

Червячная фреза, кроме вращения, совершает поступательное движение подачи вдоль образующей цилиндра нарезаемого колеса, в результате чего колесо обрабатывается по всей его ширине. В зависимости от модуля устанавливают число рабочих ходов фрезы: для  $m = 2 \dots 2,5$  мм – один рабочий ход, для  $m > 2 \dots 2,5$  мм – два рабочих хода и более. Повышения производительности при зубофрезеровании достигают путём увеличения диаметра фрезы (повышается стойкость инструмента), жёсткости её установки, использования специальных инструментальных материалов, в том числе твёрдосплавных, композиционных, применения многозаходных червячных фрез и увеличения числа одновременно нарезаемых колёс.

Формообразование зубьев червячных колёс осуществляется обычно червячными фрезами по схеме, приведенной на рис. 84. Этот способ является наиболее распространённым в серийном производстве.

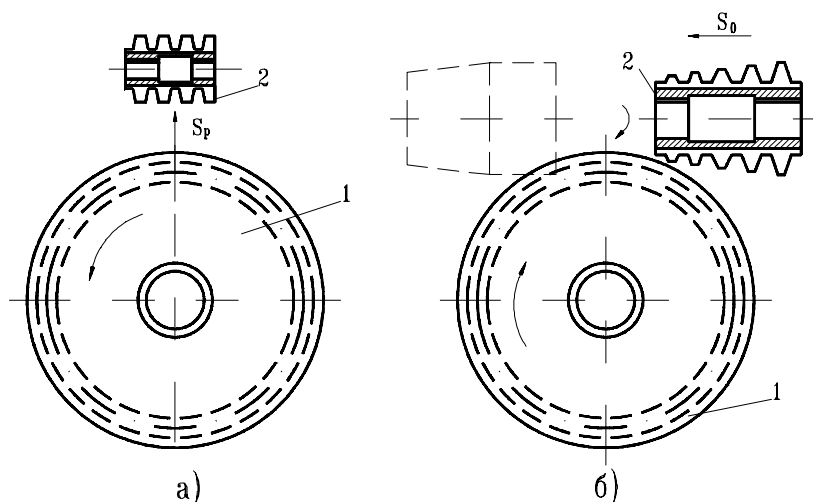


Рис. 84. Схема нарезания зубьев червячных колёс:

а – способ радиальной подачи; б – способ тангенциальной подачи;

1 – нарезаемое червячное колесо; 2 – фреза

*Зубодолбление.* Режущим инструментом является долбяк, представляющий собой зубчатое колесо с эвольвентным профилем зубьев. В процессе нарезания долбяк и нарезаемое зубчатое колесо находятся в относительном движении зацепления (без зазора), т.е. их окружные скорости на начальных окружностях равны, а частота

вращения и число зубьев связаны передаточным отношением  $i = n_n / n_3 = z_3 / z_n$ , где  $n_n, n_3$  – соответственно частота вращения инструмента и заготовки колеса;  $z_3, z_n$  – соответственно число зубьев заготовки колеса и инструмента. Нарезание зубьев долблением осуществляется на зубодолбёжных станках. Обработка за один рабочий ход применяется для зубчатых колёс: с  $m = 1 \dots 2$  мм – за один рабочий ход; с  $2 < m < 4$  – за два рабочих хода; с  $m > 4$  мм – за три рабочих хода. Кроме отмеченных обстоятельств, зубодолбление является единственным методом для нарезания колёс с внутренним зацеплением (при средних и малых диаметрах), а также при обработке зубчатых венцов в блочных шестернях.

**Зубострогание.** Этот метод основан на зацеплении колеса и рейки, воспроизводимом инструментом – гребёнкой. Обработка колёс осуществляется на станках двух типов: с вертикальной и горизонтальной осью заготовки. Станки последнего типа применяют также для обработки колёс с неразрывным шевронным зубом. У зубострогания производительность меньше, чем у зубофрезерования червячной фрезой и зубодолбления.

Накатывание зубчатых поверхностей имеет большие преимущества перед способами обработки резанием: повышает производительность в 5 – 30 раз; увеличивает износостойкость и прочность зубьев; значительно уменьшает отходы металла и др. Различают горячее и холодное накатывание. Горячее накатывание применяют для профилей с модулем больше 2 мм; холодное накатывание рекомендуется для мелко модульных колёс с модулем до 1,5...2 мм. Может применяться и комбинированное накатывание для средних и крупных модулей (основная пластическая деформация проводится в горячем состоянии, а окончательное профилирование – в холодном). Горячее накатывание производится как с радиальной, так и с продольной подачей. Схема накатки с продольной подачей аналогична холодному накатыванию.

Схема накатывания с радиальным движением подачи показана на рис. 85.

Перед накатыванием заготовку нагревают до 1000...1200 °С за 20...30 с до накатывания, затем устанавливают на оправку специального станка и производят накатывание вращающимися накатниками.

В связи с повышением требований к эксплуатационным показателям зубчатых передач (бесшумности и плавности работы, износостойкости, прочности и надёжности) в машиностроении применяют отделочные операции для зубьев цилиндрических колёс.

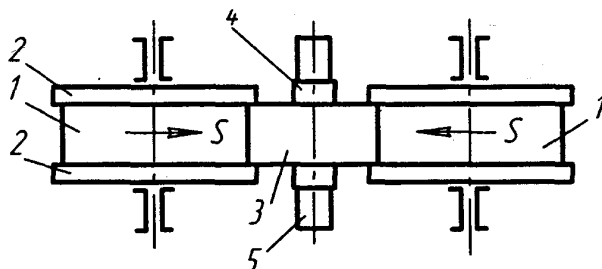


Рис. 85. Схема горячего накатывания зубьев колёс:

1 – накатники; 2 – реборды; 3 – заготовка; 4 – переходная втулка; 5 – оправка

Основными видами отделочных работ являются: шевингование, хонингование, шлифование и притирка.

**Шевингование** называется процесс тонкой отделки (исправление ошибок в шаге, угла подъёма винтовой линии, профиля эвольвенты, эксцентриситета окружности) незакалённых зубьев зубчатого колеса, осуществляемой специальным инструментом (шевером). Для шевингования прямозубых колёс применяют дисковый шевер с косыми зубьями, наклонёнными к оси под углом 10...15°, а для обработки косозубых колёс – прямозубые и косозубые шеверы с углом скрещивания осей зубчатого колеса и шевера в пределах 10...15°. Это необходимо для создания скольжения зубьев шевера вдоль зубьев колеса и соскабливания шевером тонкой стружки (толщиной 0,001...0,005 мм). Направление вращения шевера периодически изменяют для обработки зубьев с двух сторон. Для шевингования достаточно в качестве предварительной обработки ограничиться получистовым нарезанием зубьев на зубофрезерном станке с оставлением припуска 0,1...0,2 мм на сторону. Шевингование – высокопроизводительный способ чистовой обработки зубчатых колёс 6-й и 7-й степени точности, который примерно в 10 раз дешевле зубошлифования.

**Шлифование зубьев** применяют для получения особо высокой точности (5–6-я степень) закалённых зубчатых колёс. После термической обработки перед шлифованием зубьев в зубчатых колесах производят шлифование базового центрального отверстия и торца с базированием по делительной окружности при помощи специальных патронов. При необходимости второй торец шлифуют на плоскошлифовальном станке. Шлицевые отверстия с центрированием по наружному диаметру калибруют прошивками на прессе. После обработки отверстия производится шлифование зубьев копированием (рис. 86, а) и обкаткой двумя (рис. 86, б) или одним (рис. 86, в) шлифовальным кругом. Припуск на шлифование оставляют 0,1...0,3 мм на толщину зуба (в зависимости от модуля и требуемой точности). Шлифовальные круги периодически правят специальным автоматическим устройством.

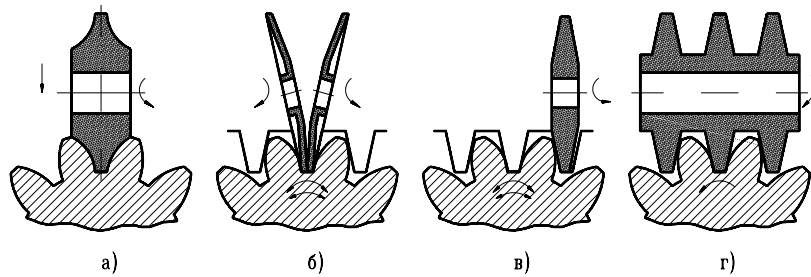


Рис. 86. Методы шлифования зубьев цилиндрических колёс

Существует также способ шлифования зубьев методом обкатки червячным шлифовальным кругом (рис. 86, з), который производит шлифование профиля зуба. Для этого способа характерна высокая производительность.

*Хонингование* применяют для чистовой отделки зубьев, как правило, закалённых цилиндрических колёс внешнего и внутреннего зацеплений. Процесс осуществляется на зубохонинговальных станках с помощью зубчатого абразивного инструмента – хона. Зубчатые хоны представляют собой прямозубые или косозубые колёса, обычно состоящие из стальной ступицы и абразивного венца того же модуля, что и обрабатываемое колесо. Частота вращения хона 180...200 мин, 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.

*Притирку зубьев* производят в тех случаях, когда конструкция зубчатых колёс не позволяет осуществить шлифования. Иногда притирку применяют после шлифования, в основном для устранения дефектов, полученных при шлифовании (прижогов, внутренних напряжений и т.п.). Притираемое колесо вращается в зацеплении с шестернёй-притиром, имеющим тот же модуль (рис. 87, а). Притир обычно выполняют по 5-й степени точности из мелкозернистого серого чугуна и перед работой смазывают пастой, состоящей из абразивного порошка и масла. Направление вращения периодически изменяется специальным механизмом для того, чтобы были обработаны обе стороны зуба.

На зубопритирочном станке обрабатываемое зубчатое колесо 2 находится в зацеплении с тремя притирами 1, 3 и 4. Ось одного притира параллельна оси обрабатываемого колеса. Оси притиров 1 и 4 расположены относительно оси обрабатываемого колеса под углом 3...4°, что увеличивает скольжение зубьев притира относительно зубьев колеса. Кроме вращения зубчатого колеса и притиров обрабатываемое зубчатое колесо имеет возвратно-поступательное движение вдоль своей оси.

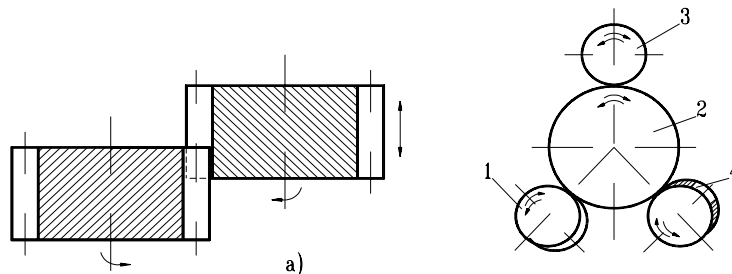


Рис. 87. Схемы притирки зубьев зубчатых колёс:  
а – одним притиром; б – тремя притирами

*Приработка* – это процесс взаимного сглаживания шероховатостей парных зубчатых колёс, главным образом закалённых. Находящиеся в зацеплении зубчатые колёса попеременно вращаются в оба направления. Поверхности зубьев смазывают абразивной пастой. Кроме того, имеется осевое перемещение. Поверхность зубьев получается гладкая и почти зеркального блеска. Приработка является как бы ускоренным искусственным износом зубьев для получения большей площади пятна контакта.

К отделочным методам относятся также *обкатка* зубьев и *прикатка* (зацепление с эталонным колесом) и др.

### 3.6.5. ТИПОВОЙ МАРШРУТ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ЗУБЧАТЫХ КОЛЁС

Основные операции механической обработки зубчатого колеса со ступицей 7-й степени точности (рис. 88).  
005 Заготовительная

Для заготовок из проката – резка проката, для штампованных заготовок – штамповка.



Штампованные заготовки целесообразно выполнять с прошитыми отверстиями, если их диаметр более 30 мм и длина не более 3-х диаметров. Заготовки из чугуна и цветных сплавов (иногда из сталей) получают литьем.

#### 010 Токарная

Точить торец обода и торец ступицы с одной стороны начерно, точить наружную поверхность обода до кулачков патрона начерно, расточить начерно на проход отверстие (или сверлить и расточить при отсутствии отверстия в заготовке), точить наружную поверхность ступицы начерно, точить фаски. Технологическая база – наружная поверхность обода и торец, противоположный ступице (закрепление в кулачках токарного патрона).

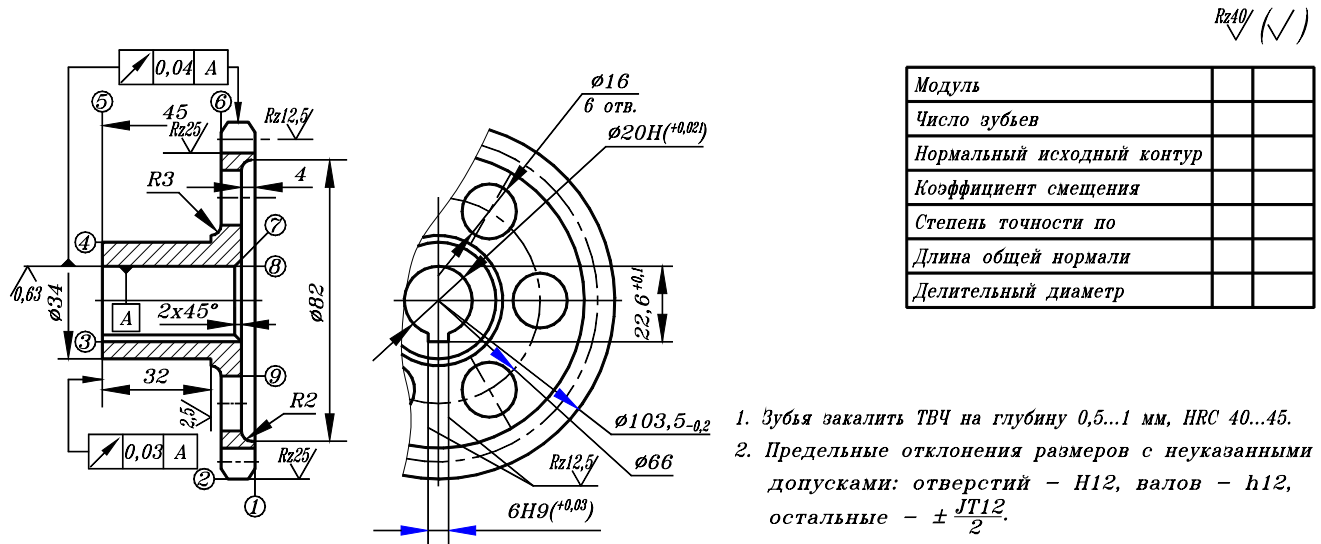


Рис. 88. Колесо зубчатое

Оборудование:

- единичное производство – токарно-винторезный станок;
- мелко- и среднесерийное – токарно-револьверный, токарный с ЧПУ;
- крупносерийное и массовое – одношпиндельный или многошпиндельный токарный полуавтомат (для заготовки из прутка – прутковый автомат).

#### 015 Токарная

Точить базовый торец обода (противолежащий ступице) начерно, точить наружную поверхность обода на оставшейся части начерно, расточить отверстие под шлифование, точить фаски. Технологическая база – обработанные поверхности обода и большего торца (со стороны ступицы). Оборудование – то же (см. операцию 010).

#### 020 Протяжная (долбежная)

Протянуть (долбить в единичном производстве) шпоночный паз или шлицевое отверстие.

Технологическая база – отверстие и базовый торец колеса. Оборудование – горизонтально-протяжной или долбежный станки. Применяются варианты чистового протягивания отверстия на данной операции вместо чистового растачивания на предыдущей операции.

Шпоночные пазы в отверстиях втулок зубчатых колёс, шкивов и других деталей обрабатываются в единичном и мелкосерийном производствах на долбежных станках, а в крупносерийном и массовом – на протяжных станках. На рисунке 89 показано протягивание шпоночного паза в заготовке зубчатого колеса на горизонтально-протяжном станке. Заготовка 1 насаживается на направляющий палец 4, внутри которого имеется паз для направления протяжки 2. Когда канавка протягивается за 2–3 рабочих хода, то под протяжку помещают подкладку 3.

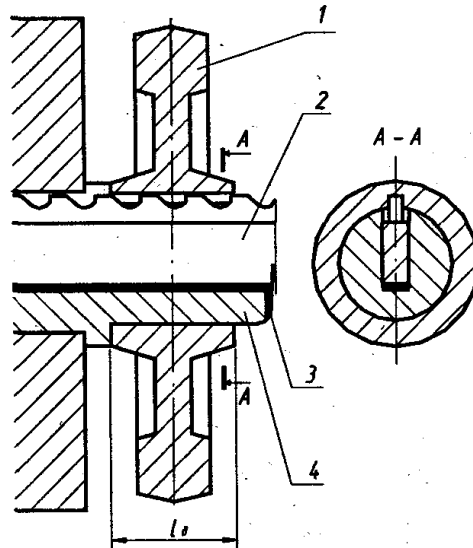


Рис. 89. Протягивание шпоночного паза в отверстии

#### 025 Токарная

Точить базовый и противоположные торцы, наружную поверхность венца начисто.

*Технологическая база* – поверхность отверстия (реализуется напрессовкой на оправку, осевое положение на оправке фиксируется путём применения подкладных колец при запрессовке заготовки). Необходимость данной операции вызывается требованием обеспечения соосности поверхностей вращения колеса. Оборудование – токарно-винторезный (единичное производство), токарный с ЧПУ (серийное) или токарный многорезцовый полуавтомат.

#### 030 Зубофрезерная

Фрезеровать зубья начерно (обеспечивается 8-я степень точности). *Технологическая база* – отверстие и базовый торец (реализуется оправкой и упором в торец). Оборудование – зубофрезерный полуавтомат.

#### 035 Зубофрезерная

Фрезеровать зубья начисто (обеспечивается 7-я степень точности).

#### 040 Шевинговальная

Шевинговальная операция повышает на единицу степень точности зубчатого колеса. Операции применяют для термообрабатываемых колёс с целью уменьшения коробления зубьев, так как снимается поверхностный наклёпанный слой после фрезерования. *Технологическая база* – отверстие и базовый торец (реализуется оправкой). Оборудование – зубошевинговальный станок.

#### 045 Термическая

Калить заготовку или зубья (ТВЧ) или цементировать, калить и отпустить – согласно техническим требованиям. Наличие упрочняющей термообработки, как правило, приводит к снижению точности колеса на одну единицу.

#### 050 Внутришлифовальная

Шлифовать отверстие и базовый торец за один установ. Обработка отверстия и торца за один установ обеспечивает их наибольшую перпендикулярность. *Технологическая база* – рабочие эвольвентные поверхности зубьев (начальная окружность колеса) и торец, противоположный базовому. Реализация базирования осуществляется специальным патроном, у которого в качестве установочных элементов используют калибровочные ролики или зубчатые секторы. Необходимость такого базирования вызвана требованием обеспечения равномерного съёма металла и зубьев при их последующей отделке с базированием по отверстию на оправке. Оборудование – внутришлифовальный станок.

При базировании колеса на данной операции за наружную поверхность венца для обеспечения соосности поверхностей вращения необходимо ввести перед или после термообработки круглошлифовальную операцию для шлифования наружной поверхности венца и торца, противоположного базовому (желательно за один установ на оправке). *Технологическая база* – отверстие и базовый торец. Оборудование – круглошлифовальный или торцециркулошлифовальный станки. Необходимость отделки наружной поверхности венца колеса часто вызывается также и тем, что контроль основных точностных параметров зубьев производится с использованием этой поверхности в качестве измерительной базы.

#### 055 Плоскошлифовальная

Шлифовать торец, противоположный базовому (если необходимо по чертежу). *Технологическая база* – базовый торец. Оборудование – плоскошлифовальный станок с прямоугольным или круглым столом.

#### 060 Зубошлифовальная

Шлифовать зубья. *Технологическая база* – отверстие и базовый терец. Оборудование – зубошлифовальный станок (обработка обкаткой двумя тарельчатыми или червячным кругами или копированием фасонным кругом). При малом короблении зубьев при термообработке (например, при азотировании вместо цементации) операция зубошлифования может быть заменена зубохонингованием или вообще отсутствовать.

Наличие зубошлифовальной или зубохонинговальной операции определяется наличием и величиной коробления зубьев при термообработке. Двукратное зубофрезерование и шевингование зубьев до термообработки может обеспечить 6-ю степень точности. При потере точности во время термообработки на одну степень конечная 7-я степень точности будет достигнута. Введение отделочной операции зубошлифования или зубохонингования необходимо только при уменьшении точности колеса при термообработке больше, чем на одну степень.

#### *065 Контрольная*

Применяются варианты техпроцесса с однократным зубофрезерованием, но с двукратным зубошлифованием.

Наличие упрочняющей термообработки приводит, как правило, к снижению степени точности колёс на одну единицу, что требует введения дополнительной отделочной операции. Для незакаливаемых зубчатых колёс шевингование является последней операцией; перед термообработкой шевингуют зубья в целях уменьшения деформации колеса в процессе термообработки и повышения степени на одну единицу.

### 3.7. ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ КОРПУСНЫХ ДЕТАЛЕЙ

#### 3.7.1. ХАРАКТЕРИСТИКА КОРПУСНЫХ ДЕТАЛЕЙ

К корпусам относят детали, содержащие систему отверстий и плоскостей, координированных друг относительно друга. К корпусам относят корпуса редукторов, коробок передач, насосов и т.д. Корпусные детали служат для монтажа различных механизмов машин. Для них характерно наличие опорных достаточно протяжённых и точных плоскостей, точных отверстий (основных), координированных между собой и относительно базовых поверхностей и второстепенных крепёжных, смазочных и других отверстий.

По общности решения технологических задач корпусные детали делят на две основные группы: а) призматические (коробчатого типа) с плоскими поверхностями больших размеров и основными отверстиями, оси которых расположены параллельно или под углом; б) фланцевого типа с плоскостями, являющимися торцовыми поверхностями основных отверстий. Призматические и фланцевые корпусные детали могут быть разъёмными и неразъёмными. Разъёмные корпуса имеют особенности при механической обработке.

#### **Технологические задачи.**

##### *Точность размеров:*

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

##### *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 задаётся 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 подшипники 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 разъёмных корпусов несовпадение осей отверстий с плоскостью разъёма в пределах 0,05...0,3 мм в зависимости от диаметра отверстий.

*Качество поверхностного слоя.* Шероховатость поверхностей отверстий  $R_a = 1,6 \dots 0,4$  мкм (для 7-го качества);  $R_a = 0,4 \dots 0,1$  мкм (для 6-го качества); поверхностей прилегания  $R_a = 6,3 \dots 0,63$  мкм, поверхностей скольжения  $R_a = 0,8 \dots 0,2$  мкм, торцовых поверхностей  $R_a = 6,3 \dots 1,6$  мкм. Твёрдость поверхностных слоёв и требования к наличию в них заданного знака остаточных напряжений регламентируются достаточно редко и для особо ответственных корпусов.

### 3.7.2. МАТЕРИАЛЫ И ЗАГОТОВКИ ДЛЯ КОРПУСОВ

В машиностроении для получения заготовок широко используются серый чугун, модифицированный и ковкий чугун, углеродистые стали; в турбостроении и атомной технике – нержавеющие и жаропрочные стали и сплавы; в авиастроении – силумины и магниевые сплавы; в приборостроении – пластмассы.

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

### 3.7.3. ОСНОВНЫЕ СХЕМЫ БАЗИРОВАНИЯ

При обработке корпусных деталей используются следующие методы базирования:

- обработка от плоскости, т.е. вначале окончательно обрабатывают установочную плоскость, затем принимают её за установочную базу и относительно неё обрабатывают точные отверстия;
- обработка от отверстия, т.е. вначале окончательно обрабатывают отверстие и затем от него обрабатывают плоскость.

Чаще применяется обработка от плоскости (базирование более простое и удобное), однако более точным является обработка от отверстия, особенно при наличии в корпусах точных отверстий больших размеров и при высокой точности расстояния от плоскости до основного отверстия (например, корпуса задних бабок токарных и шлифовальных станков).

При работе первым методом труднее выдерживать два точных размера – диаметр отверстия и расстояние до плоскости.

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

Ниже приведены наиболее часто используемые схемы базирования.

При изготовлении корпусных деталей призматического типа широко используется базирование по плоской поверхности 1 и двум отверстиям 2, чаще всего обработанным по 7-му качеству (рис. 90).

Детали фланцевого типа базируются на торец фланца 1, отверстие 2 большего диаметра и отверстие 3 малого диаметра во фланце. Распределение опорных точек зависит от соотношения длины базирующей части отверстия 3 к его диаметру (рис. 92, 93).

При базировании корпусов используют следующие опоры: а) постоянные: сменные, со сферической, плоской, рифленой поверхностью; б) регулируемые; в) плавающие; г) со срезанным пальцем, используется для компенсации отклонений межосевого расстояния (рис. 93).

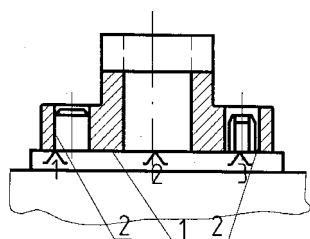


Рис. 90. Базирование корпусной заготовки на плоскость и два отверстия

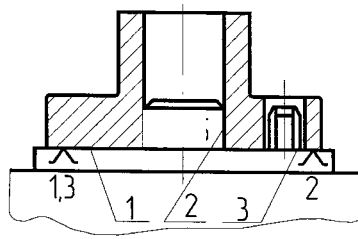


Рис. 91. Базирование корпусной заготовки на плоскость, короткую выточку и отверстие

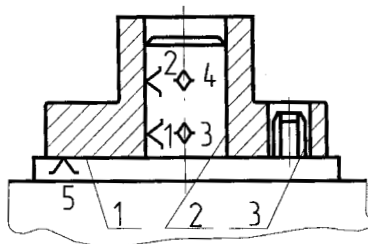


Рис. 92. Базирование корпусной заготовки на плоскость, длинное отверстие и отверстие малого диаметра во фланце

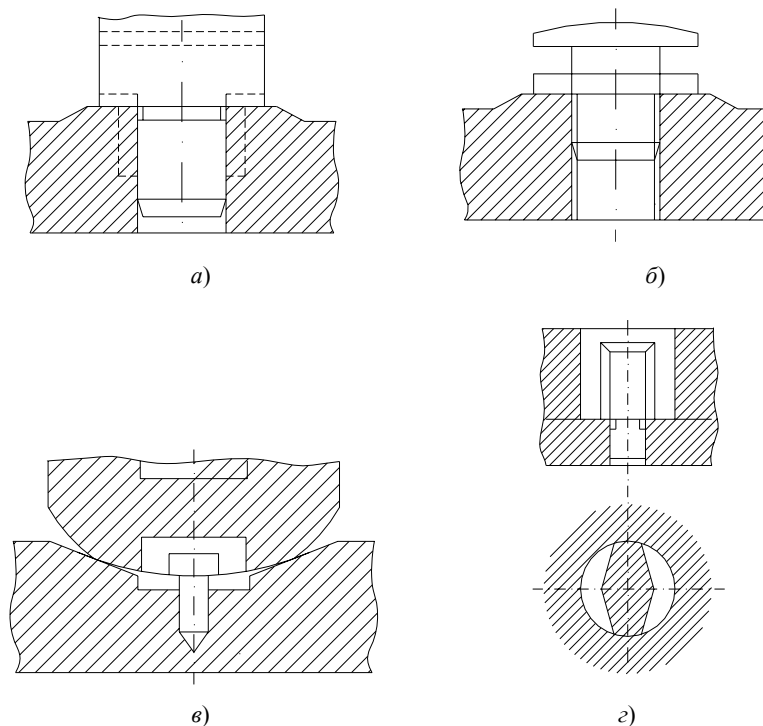


Рис. 93. Виды опор

### 3.7.4. ОБРАБОТКА РАЗЪЁМНЫХ И НЕРАЗЪЁМНЫХ КОРПУСОВ

*Маршрут обработки неразъёмных корпусов включает 3 этапа:*

1. Обработка базовых поверхностей (наружной плоскости и установочных отверстий);
2. Обработка основных отверстий;
3. Обработка крепёжных и других мелких отверстий.

*Маршрут обработки разъёмных корпусов:*

1. Обработка базовых поверхностей;
2. Обработка плоскостей разъёма;
3. Обработка крепёжных отверстий, предназначенных для соединения отдельных частей корпуса;
4. Сборка корпуса с обработкой отверстий под контрольные штифты;
5. Обработка основных отверстий;
6. Обработка крепёжных отверстий и других мелких отверстий и плоскостей.

### 3.7.5. МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ ПОВЕРХНОСТЕЙ КОРПУСОВ

В *мелкосерийном* и *единичном* производствах обработку заготовок корпусных деталей выполняют на универсальных станках без приспособлений и начинают с разметки:

- 1) наносят риски центровых осей;
- 2) от этих осей намечают остальные оси отверстий и контуры детали;
- 3) размечают окружности отверстий.

Разметкой определяют положение осей основных отверстий, плоских и других поверхностей.

Обработку плоских поверхностей можно производить различными методами на различных станках – строгальных, долбежных, фрезерных, протяжных, токарных, расточных, многоцелевых, шабровочных и др. (лезвийным инструментом); шлифовальных, полировальных, доводочных (абразивным инструментом).

Наиболее широкое применение находят строгание, фрезерование, протягивание и шлифование.

*Строгание* находит большое применение в *мелкосерийном* и *единичном* производстве благодаря тому, что для работы на строгальных станках не требуется сложных приспособлений и инструментов, как для работы на фрезерных, протяжных и других станках.

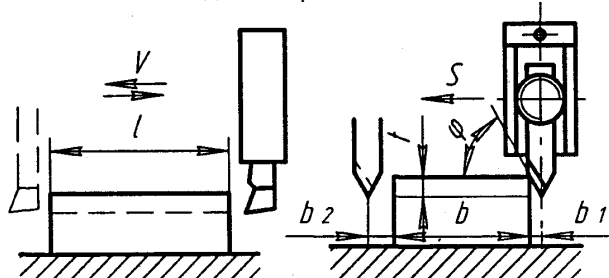
Этот метод обработки является весьма гибким при переходе на другие условия работы. Однако он малопроизводителен: обработка выполняется однолезвийным инструментом (строгальными резцами) на умеренных режимах резания, а наличие вспомогательных ходов увеличивает время обработки. Кроме того, для работы на этих станках требуются рабочие высокой квалификации. Строгание и долбление применяют в единичном и мелкосерийном производстве.

При строгании применяют: поперечно-строгальные, а также одно- и двухстоечные продольно-строгальные станки. Строгание на продольно-строгальных станках применяют в серийном производстве и при обработке крупных и тяжёлых деталей практически во всех случаях. Объясняется это простотой и дешёвизной инструмен-

та и наладки; возможностью обрабатывать поверхности сложного профиля простым универсальным инструментом, малой его чувствительностью к литейным порокам, возможностью снимать за один рабочий ход большие припуски (до 20 мм) и сравнительно высокую точность (рис. 94).

При тонком строгании может быть достигнута шероховатость  $R_a = (1,6...0,8)$  мкм и неплоскостность 0,01 мм для поверхности 300×300 мм.

Для увеличения производительности процесса строгания заготовки устанавливают в один или несколько рядов; обрабатывают одновременно заготовки деталей различных наименований.



**Рис. 94. Схема строгания плоской поверхности:**  
 $l$  – длина заготовки, мм;  $b_2$  – перебег резца, мм;  $b$  – ширина заготовки, мм;  
 $b_1$  – врезание резца, мм;  $t$  – глубина резания, мм

Наиболее рационально применять строгание длинных и узких поверхностей. При обычной форме резца строгание производится с глубиной резания от 3 до 10 мм и подачей 0,8...1,2 мм на один двойной ход стола, обеспечивая IT 13 – 11;  $R_a = 3,2...12,5$ .

*Фрезерование* в настоящее время является наиболее распространённым методом обработки плоских поверхностей. В *массовом* производстве фрезерование вытеснило применявшееся ранее строгание.

Фрезерование осуществляется на фрезерных станках. Фрезерные станки разделяются на горизонтально-фрезерные, вертикально-фрезерные, универсально-фрезерные, продольно-фрезерные, карусельно-фрезерные, барабанно-фрезерные и многоцелевые.

Существуют следующие виды фрезерования (рис. 95): цилиндрическое (*a*), торцовое (*б*), двустороннее (*в*), трёхстороннее (*г*).

Широкое применение находит в настоящее время фрезерование торцовыми фрезами, а при достаточно больших диаметрах фрез (свыше 90 мм) – фрезерными головками (торцовыми фрезами со вставными ножами). Это объясняется следующими преимуществами фрезерования этими фрезами перед фрезерованием цилиндрическими фрезами:

- применением фрез больших диаметров, что повышает производительность обработки;
- одновременным участием в обработке большого числа зубьев, что обеспечивает более производительную и плавную работу;
- отсутствием длинных оправок, что даёт большую жёсткость крепления инструмента и, следовательно, возможность работать с большими подачами (глубинами резания);
- одновременной обработкой заготовок с разных сторон (например, при использовании барабанно-фрезерных станков).

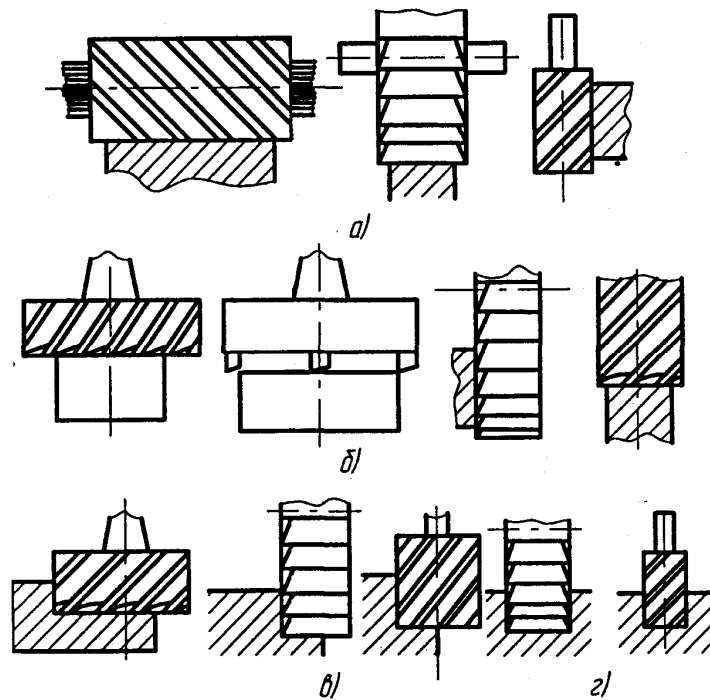


Рис. 95. Схемы фрезерования плоских поверхностей:  
 а – цилиндрического; б – торцового; в – двустороннего; г – трёхстороннего

Фрезерование характеризуется высокой производительностью и сравнительно высокой точностью. Фрезерование в два перехода (черновой и чистовой) позволяет достичь: по точности размеров – IT9; по шероховатости  $R_a = 6,3 \dots 0,8$  мкм; отклонение от плоскостности 40...60 мкм.

Одним из наиболее производительных способов фрезерования является обработка плоскостей на карусельно-фрезерных, барабанно-фрезерных станках, что возможно по непрерывному циклу. Одним из способов сокращения основного времени является внедрение скоростного и силового фрезерования. Скоростное фрезерование характеризуется повышением скоростей резания, при обработке стали до 350 м/мин, чугуна – до 450 м/мин, цветных металлов – до 2000 м/мин, при небольших подачах на зуб фрезы  $S_z = 0,05 \dots 0,12$  мм/зуб – при обработке сталей, 0,3...0,8 мм/зуб – при обработке чугуна и цветных сплавов. Силовое фрезерование характеризуется большими подачами на зуб фрезы ( $S_z > 1$  мм).

Как скоростное, так и силовое фрезерование выполняется фрезами, оснащёнными твёрдосплавными и керамическими пластинами.

Тонкое фрезерование характеризуется малыми глубинами резания ( $t = < 0,1$  мм), малыми подачами ( $S_z = 0,05 \dots 0,10$  мм) и большими скоростями резания.

*Протягивание* плоскостей реализуют на вертикально- и горизонтально-протяжных станках. Протягивание наружных плоских поверхностей благодаря высокой производительности и низкой себестоимости находит всё большее применение в *крупносерийном и массовом* производстве. Для этих типов производств протягивание экономически выгодно, несмотря на высокую стоимость оборудования и инструмента. В настоящее время фрезерование часто заменяют наружным протягиванием (плоскости, пазы, канавки и т.п.).

В *массовом* производстве для наружного протягивания применяют высокопроизводительные многопозиционные протяжные станки, а также станки непрерывного действия.

Протягивание является самым высокопроизводительным методом обработки плоскостей, обеспечивающим точность размеров IT7 – IT9, шероховатость  $R_a = (3,2 \dots 0,8)$  мкм.

Основными преимуществами протягивания по сравнению с фрезерованием являются: высокая производительность; высокая точность; высокая стойкость инструмента.

Ограничениями широкого применения протягивания являются его высокая стоимость и сложность инструмента.

Обычно при протягивании используются следующие режимы: подача на зуб  $S_z = 0,1 \dots 0,4$  мм/зуб; скорость резания  $t = 6 \dots 12$  м/мин с максимальными припусками до 4 мм с шириной протягивания до 350 мм.

*Шабрение* выполняют с помощью режущего инструмента – шабера – вручную или механическим способом. Шабрение вручную – малопроизводительный процесс, требует большой затраты времени и высокой квалификации рабочего, но обеспечивает высокую точность. Механический способ выполняют на специальных станках, на которых шабер совершает возвратно-поступательное движение. Точность шабрения определяют по числу пятен на площади 25×25 мм (при проверке контрольной плитой). Чем больше пятен, тем точнее обработка.

Сущность шабрения состоит в соскабливании шаберами слоёв металла (толщиной около 0,005 мм) для получения ровной поверхности после её чистовой предварительной обработки. Шабрение называют тонким, если число пятен более 22 и  $R_a < 0,08$  мкм, и чистовым, если число пятен 6...10,  $R_a < 1,6$  мкм.

**Шлифование.** Как и наружные цилиндрические поверхности деталей типа тел вращения, плоские поверхности обрабатывают шлифованием, полированием и доводкой.

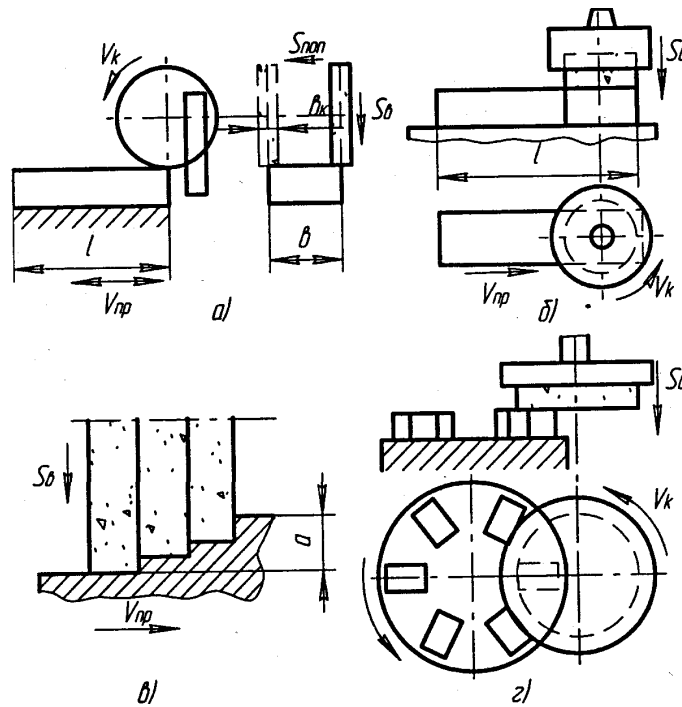
Шлифование плоских поверхностей осуществляют на плоскошлифовальных станках с крестовым или круглым столом как обычного исполнения, так и с ЧПУ. Плоское шлифование является одним из основных методов обработки плоскостей деталей машин (особенно закалённых) для достижения требуемого качества. В ряде случаев плоское шлифование может с успехом заменить фрезерование. Шлифование плоских поверхностей может быть осуществлено двумя способами: периферией круга и торцом круга (рис. 96).

Шлифование периферией круга может осуществляться тремя способами:

- 1) многократными рабочими ходами;
- 2) установленным на размер кругом;
- 3) ступенчатым кругом.

При первом способе (рис. 96, а) поперечное движение подачи круга производится после каждого продольного хода стола, а вертикальное – после рабочего хода по всей поверхности длины деталей ( $l$ ).

При втором способе (рис. 96, б) шлифующий круг устанавливается на глубину, равную припуску, и при малой скорости перемещения стола обрабатывают заготовку по всей длине. После каждого рабочего хода шлифовальный круг перемещается в поперечном направлении от 0,7...0,8 высоты круга. Для чистового рабочего хода оставляют припуск 0,01...0,02 мм и снимают его первым способом. Этот способ применяют при обработке на мощных шлифовальных станках.



**Рис. 96. Схемы шлифования плоскостей:**

а – периферией круга; б – торцом круга; в – профилирующим кругом; г – торцом круга на вращающемся столе

При шлифовании третьим способом круг профилируют ступеньками. Припуск ( $Z_i$ ), распределённый между отдельными ступеньками, снимается за один рабочий ход (рис. 96, в).

На рисунке 96, г показана схема шлифования установленным на размер кругом на станке с вращающимся столом.

Плоским шлифованием обеспечиваются следующие точность размеров и шероховатость поверхности:

- IT8-IT9,  $R_a = 1,6$  мкм – черновое (предварительное) шлифование;
- IT7-IT8,  $R_a = (0,4...1,6)$  мкм – чистовое шлифование;
- IT7-IT8,  $R_a = (0,4...1,6)$  мкм – тонкое шлифование.

Шлифование обычно производится с применением СОЖ.

**Полирование поверхностей** является методом отделочной обработки. В качестве абразивных инструментов применяют эластичные шлифовальные круги, шлифовальные шкурки.

Доводка плоскостей осуществляется на плоскодоводочных станках. Тонкую доводку плоских поверхностей осуществляют притирами. Осуществляют доводку при давлении 20... 150 кПа, причём, чем меньше давле-



ние, тем выше качество обработанной поверхности. Скорости при тонкой доводке небольшие (2...10 м/мин). С повышением давления и скорости производительность повышается.

#### Обработка отверстий.

В *единичном* и *мелкосерийном* производствах основные отверстия обрабатывают в основном на универсальных горизонтально-расточных, а при более высокой точности – на координатно-расточных станках, без применения расточных приспособлений.

В *серийном* производстве применяют на тех же станках расточные приспособления с кондукторными втулками для инструментов или на радиально-сверлильных станках с применением поворотных кондукторов.

В *крупносерийном* производстве применяют специальные многошпиндельные агрегатные станки. При обработке отверстий диаметром до 50 мм последовательно проводят: сверление, зенкерование, развёртывание.

Особую сложность вызывает обработка соосных отверстий. Такие отверстия (до  $d = 50$  мм) обрабатываются либо с одной стороны или с двух поворотом стола. Окончательная обработка производится только с одной стороны (рис. 97).

кондукторная втулка

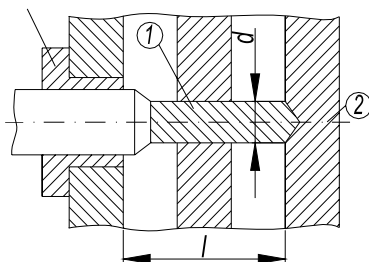


Рис. 97. Схема обработки отверстия

Маршрут обработки (односторонняя схема)

1. Сверления отверстия  $l$  с зацентровкой отверстия 2.
2. Зенкерование отверстия 1.
3. Сверление отверстия 2.
4. Зенкерования отверстия 2.
5. Развёртывание отверстия 2.
6. Развёртывание отверстия 1.

На переходах 3 – 6 инструмент направляется кондукторной втулкой и обработанным отверстием  $l$  или 2. Эта схема (с консольной оправкой) применяется при  $l < (5...6)d$ .

В случае необходимости применяют дополнительную опору.

При этом инструмент, закреплённый на борштанге имеет два направления, расположенные с двух сторон детали (*двухсторонняя схема*). При  $l > 6d$ . В этом случае борштанга имеет две стороны: в кондукторной втулке и в люнетной опоре. Борштанга соединяется со шпинделем *гибкой связью* (рис. 98).

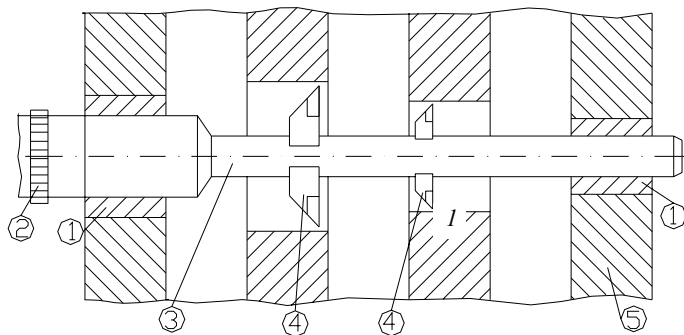


Рис. 98. Двухсторонняя схема обработки отверстия:

$l$  – инструмент; 2 – кондукторная втулка; 3 – гибкая связь (шарнирное крепление); 4 – борштанга (расточная скалка); 5 – люнетная стойка

Обработка литых отверстий  $d = 50...300$  мм производится по следующему маршруту:

1. Первое черновое растачивание.
2. Второе черновое растачивание.
3. Полуцистовое растачивание.
4. Подрезание торцов.
5. Чистовое растачивание.
6. Развёртывание.

Широко применяется растачивание пластинами, быстро и точно устанавливаемыми на борштанге. Подрезание торцов и отверстий корпусных деталей производится зенкерами (цинковками), пластинами, резцами. При  $D > 300$  мм с помощью "летучего" суппорта.

Отделочная обработка отверстий производится на специальных станках для тонкого растачивания или на хонинговальных станках. Крепёжные и смазочные отверстия в мелкосерийном производстве обрабатывают на радиально-сверлильных станках с применением накладных кондукторов или по разметке. Резьбу диаметром до 8 мм нарезают вручную, более 8 мм на станке. Контроль корпусных деталей производится: плоскостей – уровнем или индикатором; отверстий – штангенциркулем, микрометром, предельными калибрами, нутромерами; соосность – гладкими или ступенчатыми оправками; межосевые – штангенрейстусом, индикатором расстояния.

### 3.7.6. ТИПОВОЙ МАРШРУТ ИЗГОТОВЛЕНИЯ КОРПУСА

Последовательность механической обработки корпуса призматического типа с плоским основанием и основным отверстием с осью, параллельной основанию.

#### 005 Заготовительная

Заготовки корпусов из серого чугуна отливают в земляные, металлические (кокиль) или оболочковые формы, из стали – в земляные формы, кокиль или по выплавляемым моделям. Заготовки из алюминиевых сплавов отливают в кокиль или литьём под давлением. В единичном и мелкосерийном производствах применяют сварные корпуса из стали. Заготовки корпусных деталей перед механической обработкой проходят ряд подготовительных операций.

#### 010 Фрезерная (протяжная)

Фрезеровать, или протянуть плоскость основания начерно и начисто или с припуском под плоское шлифование (при необходимости). *Технологическая база* – необработанная плоскость, параллельная обрабатываемой поверхности. Оборудование:

- в единичном и мелкосерийном производствах – вертикально-фрезерный и строгальный станки;
- в серийном – продольно-фрезерный или продольно-строгальный станки;
- в крупносерийном и массовом – барабанно- и карусельно-фрезерные, плоскопротяжные, агрегатно-фрезерные станки.

#### 015 Сверлильная

Сверлить и зенковать (при необходимости) отверстия в плоскости основания. Развернуть два отверстия. *Технологическая база* – обработанная плоскость основания. Оборудование – радиально-сверлильный станок или сверлильный с ЧПУ, в массовом и крупносерийном производствах – многошпиндельный сверлильный станок или агрегатный станок.

#### 020 Фрезерная

Обработка плоскостей, параллельных базовой (при их наличии). *Технологическая база* – плоскость основания. Оборудование – (см. операцию 10).

#### 025 Фрезерная

Обработка плоскостей, перпендикулярных базовой (торцы основных отверстий). *Технологическая база* – плоскость основания и два точных отверстия. Оборудование – горизонтально-фрезерный или горизонтально-расточной станок.

#### 030 Расточная

Растачивание основных отверстий (черновое и чистовое, или с припуском под точное растачивание). *Технологическая база* – та же (см. операцию = 025). Оборудование – единичное производство – универсальный горизонтально-расточной станок:

- мелкосерийное и среднесерийное – станки с ЧПУ расточно-фрезерной группы и многооперационные станки;
- крупносерийное и массовое – агрегатные многошпиндельные станки.

Точность межосевых расстояний, а также точность положения отверстий достигается с помощью:

- разметки (от  $\pm 0,1$  мм до  $+0,5$  мм);
- пробных расточек (до  $+0,02$  мм);
- координатное растачивание на горизонтально-расточных станках (до  $\pm 0,02$  мм);
- обработка по кондукторам и шаблонам (до  $\pm 0,02$  мм,  $\pm 0,03$  мм).

#### 035 Сверлильная

Сверлить (зенковать при необходимости), нарезать резьбу в крепёжных отверстиях. *Технологическая база* – та же. Оборудование – радиально-сверлильный, сверлильный с ЧПУ, многооперационный, сверлильный многошпиндельный и агрегатный станки (в зависимости от типа производства).

#### 040 Плоскошлифовальная

Шлифовать (при необходимости) плоскость основания. *Технологическая база* – поверхность основного отверстия или обработанная плоскость, параллельная базовой (в зависимости от требуемой точности расстояния от базовой плоскости до оси основного отверстия). Оборудование – плоскошлифовальный станок с прямоугольным или круглым столом.

#### 045 Расточная

Тонкое растачивание основного отверстия. *Технологическая база* – базовая плоскость и два отверстия. Оборудование – алмазно-расточной станок. С целью выдерживания принципа постоянства баз большинство

операций обработки (020, 025, 030, 035), за исключением операций подготовки технологических баз (010, 015) и отделки основных поверхностей (040, 045), часто концентрируют в одну операцию, выполняемую на горизонтально-расточном (единичное производство), многооперационном (серийное) или агрегатном (массовое) станках.

В маршрут обработки разъемных корпусов дополнительно к вышеприведенным операциям включают:

- обработку поверхности разъема у основания (фрезерная);
- обработку поверхности разъема у крыши (фрезерная);
- обработку крепёжных отверстий на поверхности разъема основания (сверлильная);
- обработку крепёжных отверстий на поверхности разъема крышки (сверлильная);
- сборку корпуса промежуточную (слесарно-сборочная операция);
- обработку двух точных отверстий (обычно сверлением и развёртыванием) под цилиндрические или конические штифты в плоскости разъема собранного корпуса).

### 3.7.7. ТИПОВОЙ МАРШРУТ ИЗГОТОВЛЕНИЯ КРОНШТЕЙНА

Рассматриваемый кронштейн (рис. 99) изготавливается литьём в разовые формы с машинной формовкой по деревянным моделям. Материал – серый чугун.

005 Вертикально-фрезерная

Оборудование: вертикально-фрезерный станок. Приспособление специальное. Фрезеровать плоскость 1 под шлифование.

010 Радиально-сверлильная

Оборудование: радиально-сверлильный станок, приспособление – кондуктор.

1. Сверлить четыре отверстия 2 и 3.
2. Зенкеровать четыре отверстия 3.

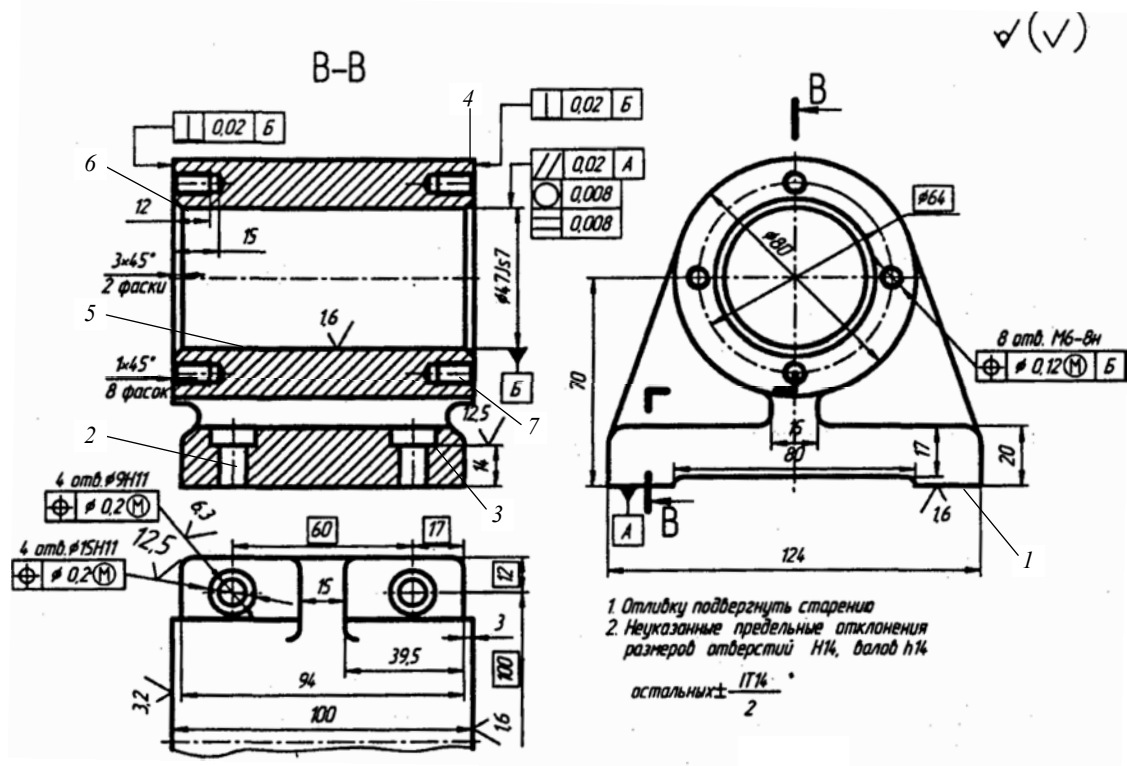


Рис. 99. Кронштейн

#### 015 Токарная

Оборудование: токарный станок. Подрезать торец 4, расточить отверстие 5, точить фаску 6. (Обработка противоположного торца не показана).

#### 020. Радиально-сверлильная

Оборудование: станок радиально-сверлильный. Приспособление – кондуктор. Сверлить, зенкеровать, нарезать резьбу в четырёх отверстиях 7 (обработка отверстий на противоположном торце не показана).

#### 025 Плоскошлифовальная

Оборудование: станок плоскошлифовальный. Приспособление специальное. Шлифовать плоскость основания начисто.

#### 030 Внутршлифовальная

Оборудование: внутршлифовальный станок. Шлифовать отверстие 5.

Примеры маршрутов изготовления корпусных деталей с отверстиями, оси которых параллельны и скрещиваются, рассмотрены выше.

### 3.8. ОБРАБОТКА ДЕТАЛЕЙ КЛАССА "НЕКРУГЛЫЕ СТЕРЖНИ" (РЫЧАГИ)

#### 3.8.1. ХАРАКТЕРИСТИКА РЫЧАГОВ

К деталям класса рычагов относятся собственно рычаги, тяги, серьги, вилки, балансиры, шатуны (рис. 100).

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

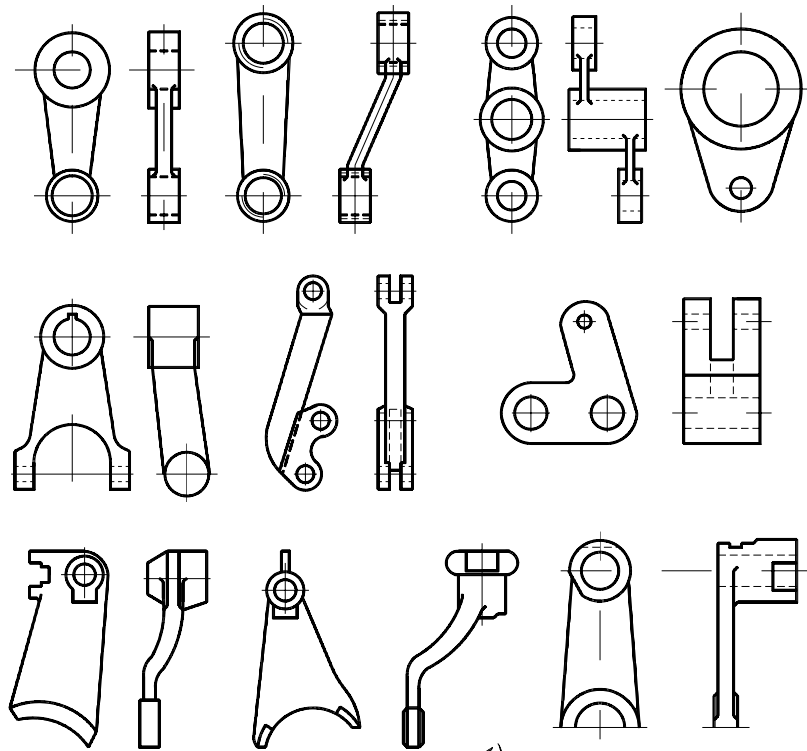
Детали класса рычагов имеют два отверстия или больше, оси которых расположены параллельно или под прямым углом. Тело рычагов представляет собой стержень, не обладающий достаточной жёсткостью. В деталях этого класса, кроме основных отверстий, обрабатываются шпоночные или шлицевые пары, крепёжные отверстия 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:

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

*Технологические задачи.*

*Точности размеров.* Отверстия – основные и вспомогательные базы, поверхностями которых рычаги и вилки сопрягаются с валиками, проектируют у рычагов и шарнирных вилок по Н7 – Н9, а у вилок переключения для уменьшения перекоса при осевом перемещении – по Н7–Н8. Точность расстояний между параллельными исполнительными поверхностями вилок переключения назначают по IT10 – IT12. Расстояние между осями отверстий основных и вспомогательных баз рычагов должны соответствовать расчётным; допускаемые отклонения в зависимости от требуемой точности колеблются от  $\pm 0,025$  до  $+0,1$  мм.



**Рис. 100. Конструктивные разновидности рычагов, вилок и шатунов**

*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 сопряжённым 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), задаётся перпендикулярность осей отверстий относительно этих плоскостей с допускаемыми отклонениями  $(0,1...0,3)/100$ .

*Качество поверхностного слоя.* Шероховатость поверхности отверстий у рычагов и вилок в зависимости от точности диаметров отверстий назначают  $R_a = 0,8...3,2$  мкм, шероховатость исполнительных поверхностей у рычагов  $R_a = 0,63...3,1$ , у вилок переключения  $0,8...3,2$  мкм. Для увеличения сроков службы твёрдость исполнительных поверхностей рычагов и вилок устанавливают HRCэ 40...60.

В качестве материалов для изготовления рычагов служат: серый чугун, ковкий чугун и конструкционные стали. Работающие при незначительных нагрузках рычаги изготавливают из пластмассы.

### 3.8.2. МАТЕРИАЛЫ И ЗАГОТОВКИ РЫЧАГОВ

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 нежёстких деталей, работающих с толчками и ударами, недостаточно вязкий серый чугун является ненадёжным материалом и заменяется ковким чугуном. При получении ковкого чугуна обязательным становится отжиг, после которого заготовки коробятся и должны дополнительно подвергаться правке.

Чугунные заготовки рычагов получают обычно литьём 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. Припуски на обработку и допуски на размеры отливок рычагов определяются соответствующими стандартами.

Стальные заготовки рычагов получают ковкой, штамповкой, литьём по выплавляемым моделям и режесваркой. При штамповке заготовок в небольших количествах применяют подкладные штампы. С увеличением масштаба изготовления заготовок более экономичной становится штамповка их 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 повышения производительности и уменьшения себестоимости штампованных заготовок их предварительное формование в массовом производстве в ряде случаев производят на ковочных вальцах.

### 3.8.3. ТИПОВОЙ МАРШРУТ ИЗГОТОВЛЕНИЯ РЫЧАГА

При фрезеровании торцов втулок за технологическую базу принимают или 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 втулок. Заключительные этапы обработки выполняют при использовании в качестве технологической базы одного или двух основных отверстий торцов втулок.

Рассмотрим основные операции механической обработки рычагов с общей плоскостью торцов втулок (рис. 101).

#### 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. Если заготовки проходят чеканку (т.е. торцы втулок обжаты прессом), то фрезерную обработку не производят.

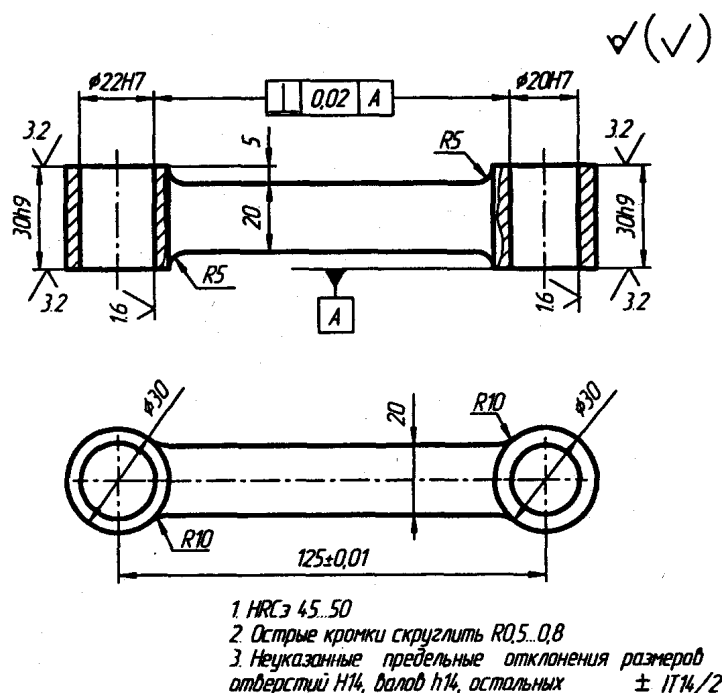


Рис. 101. Рычаг

#### 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, зенкерование, одно- или двукратное развёртывание или двойное растачивание;  
– сверление и протягивание (для отверстий диаметром более 30 мм), полученные в заготовке прошиванием или литьём, 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 резьбы (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.*

*045 Контрольная.*

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

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.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

---

1. Справочник технолога-машиностроителя / под ред. А.Г. Косиловой, Р.К. Мещерякова. – М. : Машиностроение, 1985. – Т. 1. – 665 с.
2. Справочник технолога-машиностроителя / под ред. А.Г. Косиловой, Р.К. Мещерякова. – М. : Машиностроение, 1985. – Т. 2. – 496 с.
3. Ткачев, А.Г. Проектирование технологического процесса изготовления деталей машин / А.Г. Ткачев. – Тамбов : Изд-во Тамб. гос. тех. ун-та, 2007. – 48 с.
4. Зуев, А.А. Технология машиностроения / А.А. Зуев. – 2-е изд., испр. и доп. – СПб. : Изд-во "Лань", 2003. – 496 с.
5. Ткачев, А.Г. Типовые технологические процессы изготовления деталей машин / А.Г. Ткачев, И.Н. Шубин. – Тамбов : Изд-во Тамб. гос. тех. ун-та, 2004. – 112 с.
6. Станочные приспособления : справочник / под ред. Б.Н. Вардашкина, А.А. Шатилова. – М. : Машиностроение, 1984. – Т. 1. – 591 с.
7. Технология машиностроения. Ч. II: Проектирование технологических процессов / под ред. С.Л. Мурашкина – СПб. : Изд-во СПбГПУ, 2003. – 498 с.
8. Шубин, И.Н. Типовые процессы в машиностроении : лабораторный практикум / И.Н. Шубин и др. – Тамбов : Изд-во Тамб. гос. тех. ун-та, 2007. – 84 с.
9. Горбачевич, А.Ф. Курсовое проектирование по технологии машиностроения / А.Ф. Горбачевич, В.А. Шкред. – М. : Высшая школа, 1983. – 225 с.
10. Техничко-экономическое обоснование конструкторского решения : метод. указ. / сост. : В.В. Быковский, А.И. Попов. – Тамбов : Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2000. – 24 с.
11. Худобин, Л.В. Курсовое проектирование по технологии машиностроения / Л.В. Худобин и др. – М. : Машиностроение, 1989. – 288 с.
12. Обработка металлов резанием : справочник технолога / под ред. А.А. Панова. – М. : Машиностроение, 1988. – 736 с.
13. Вереина, Л.И. Справочник токаря : учеб. пособие для начального профессионального образования / Л.И. Вереина. – М. : Издательский центр "Академия", 2002. – 448 с.
14. Экономика предприятия : учебник для вузов / под ред. В.Я. Горфинкеля, Е.М. Купрякова. – М., 1996.
15. Маракулин, И.В. Краткий справочник технолога тяжелого машиностроения / И.В. Маракулин и др. – М. : Машиностроение, 1987. – 464 с.
16. Станочные приспособления : справочник / под ред. Б.Н. Вардашкина, А.А. Данилевского. – М. : Машиностроение, 1984. – Т. 2. – 655 с.
17. Никифоров, А.Д. Типовые технологические процессы изготовления аппаратов химических производств / А.Д. Никифоров, В.А. Беленький, Ю.В. Поплавский. – М. : Машиностроение, 1979. – 278 с.



# ОГЛАВЛЕНИЕ

<b>ВВЕДЕНИЕ</b> .....	3
<b>1. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ КАЧЕСТВА ИЗДЕЛИЙ В МАШИНОСТРОЕНИИ</b> .....	4
1.1. Основные направления развития технологии машиностроения .....	4
1.2. Качество изделий в машиностроении .....	4
1.3. Точность изделия и способы её обеспечения .....	5
1.4. Влияние требований точности на трудоёмкость и себестоимость .....	7
1.5. Виды погрешностей .....	8
1.6. Вероятностно-статистический метод оценки погрешности ...	9
1.6.1. Закон нормального распределения .....	9
1.6.2. Статическое регулирование технологического процесса	13
1.7. Базирование .....	14
1.7.1. Понятие о базах, их классификации и назначение .....	14
1.7.2. Правило базирования, выбор баз .....	18
1.8. Факторы, влияющие на точность обработки .....	20
1.8.1. Погрешность установки заготовки ( $\Delta\epsilon_y$ ) .....	20
1.8.2. Погрешность, вызванная нежесткостью технологической системы ( $\Delta OЗГИ$ ) .....	21
1.8.3. Погрешность за счёт износа режущего инструмента ( $\Delta_{ин}$ )	25
1.8.4. Погрешность за счёт настройки станка ( $\Delta_{настр}$ ) .....	27
1.8.5. Погрешность за счёт тепловых деформаций технологической системы ( $\Delta t$ ) .....	27
1.8.6. Погрешности, вызванные остаточными напряжениями в материале заготовок ( $\Delta_{ост}$ ) .....	28
1.8.7. Погрешность от геометрических неточностей станка ( $\Delta_{ст}$ )	29
1.8.8. Расчёт суммарной погрешности обработки ( $\Delta\Sigma$ ) .....	30
1.9. Качество поверхностей деталей и заготовок .....	30
1.9.1. Основные характеристики качества поверхностного слоя .....	30
1.9.2. Влияние качества поверхности на эксплуатационные свойства деталей .....	31
1.9.3. Факторы, влияющие на качество поверхности. Зависимость шероховатости от условий обработки ....	33
1.10. Формирование поверхностного слоя методами технологического воздействия .....	34
1.10.1. Управление качеством поверхности технологическими методами .....	34
1.10.2. Классификация технологических методов повышения качества поверхности .....	35
<b>2. ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И РАСЧЁВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ</b> .....	39
2.1. Понятие об изделии, производственном и технологическом процессах .....	39
2.2. Норма времени, технологическая себестоимость изделия ...	41
2.3. Типы машиностроительных производств. Сущность поточных методов производства .....	45
2.4. Проектирование технологического процесса изготовления деталей (ПТП) .....	48
2.4.1. Основные принципы построения технологического процесса .....	48
2.4.2. Исходные данные для проектирования процессов ....	49
2.4.3. Анализ чертежа, технических условий и служебного	50

назначения детали .....	
2.4.4. Рекомендации системы технологической подготовки производства .....	50
2.5. Этапы построения технологического процесса изготовления детали .....	51
2.5.1. Выбор маршрута обработки поверхностей детали .....	51
2.5.2. Проектирование технологического маршрута изготовления детали .....	52
2.5.3. Проектирование технологических операций .....	54
2.5.4. Определение припусков на обработку .....	55
2.5.5. Факторы, определяющие минимальный припуск .....	57
2.5.6. Определение промежуточных и исходных размеров заготовки .....	59
2.5.7. Выбор оборудования, приспособлений, инструментов .....	63
2.5.8. Расчёт режимов резания .....	64
<b>3. ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ТИПОВЫХ ДЕТАЛЕЙ МАШИН .....</b>	<b>66</b>
3.1. Виды и способы изготовления заготовок .....	66
3.2. Предварительная обработка заготовок .....	68
3.3. Технология изготовления деталей класса "круглые стержни" (валы) .....	69
3.3.1. Характеристика валов .....	69
3.3.2. Материалы и заготовки валов .....	72
3.3.3. Основные схемы базирования .....	75
3.3.4. Обработка гладких валов .....	79
3.3.5. Обработка ступенчатых валов .....	80
3.3.6. Методы обработки наружных цилиндрических поверхностей .....	81
3.3.7. Обработка на валах элементов типовых сопряжений .....	82
3.3.8. Методы повышения качества поверхностного слоя деталей .....	97
3.3.9. Особенности обработки кулачковых, эксцентриковых и коленчатых валов .....	102
3.3.10. Особенности изготовления крупногабаритных валов .....	104
3.3.11. Типовой маршрут изготовления вала .....	105
3.4. Обработка деталей класса "полые цилиндры" (втулки) .....	107
3.4.1. Характеристика втулок .....	107
3.4.2. Материалы и заготовки для втулок .....	108
3.4.3. Основные схемы обработки .....	109
3.4.4. Методы обработки внутренних цилиндрических поверхностей .....	110
3.4.5. Типовые маршруты изготовления втулок .....	119
3.5. Технология изготовления дисков и фланцев .....	121
3.5.1. Типовые маршруты изготовления дисков .....	121
3.5.2. Типовой маршрут изготовления фланцев .....	123
3.6. Технология изготовления зубчатых колёс .....	124
3.6.1. Характеристика зубчатых колёс .....	124
3.6.2. Материалы и заготовки для зубчатых колёс .....	127
3.6.3. Основные схемы базирования .....	127
3.6.4. Основные методы формообразования зубьев зубчатых колёс .....	128
3.6.5. Типовой маршрут изготовления зубчатых колёс .....	134
3.7. Технология изготовления корпусных деталей .....	139
3.7.1. Характеристика корпусных деталей .....	139
3.7.2. Материалы и заготовки для корпусов .....	140
3.7.3. Основные схемы базирования .....	140
3.7.4. Обработка разъёмных и неразъёмных корпусов .....	142
3.7.5. Методы обработки поверхностей корпусов .....	143
3.7.6. Типовой маршрут изготовления корпуса .....	150
3.7.7. Типовой маршрут изготовления кронштейна .....	152
3.8. Обработка деталей класса "некруглые стержни" (рычаги) ...	154

3.8.1. Характеристика рычагов .....	154
3.8.2. Материалы и заготовки рычагов .....	156
3.8.3. Типовой маршрут изготовления рычага .....	157
<b>СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ .....</b>	<b>160</b>