

# Содержание

1. Техническая подготовка производства
2. Литейные процессы
3. Обработка давлением
4. Обработка резанием
5. Технология переработки пластмасс
6. Электрофизическая обработка

# Техническая подготовка производства

## 1. Конструкторская и технологическая подготовка производства

Техническая подготовка производства включает комплекс работ по своевременной и качественной разработке новых изделий, их освоению, проектированию технологии и СТО, расчету нормативов расхода материалов, подготовке всей технической документации и запуску их в производство. По ряду позиций техническая подготовка производства пересекается с проектированием РЭС, в которое входят: схемотехника (разработка структурной и принципиальной схем), конструирование, разработка технологии и внедрение в производство. Все этапы проектирования изделий и технической подготовки производства требуют автоматизации, без которой невозможна интенсификация и повышение качества изделий.

Техническая подготовка производства состоит из конструкторской (КПП) и технологической (ТПП) подготовки производства.

КПП предусматривает разработку, проектирование, изготовление и испытание образцов новых изделий. КПП выполняется в несколько стадий, что позволяет отработать решение и исключить ошибки. Содержание и число стадий определяется ГОСТ 2.103-68.

На стадии «Техническое задание» определяется: основное назначение изделия, его технические характеристики, показатели качества и технико-экономические требования, последовательность разработки технической документации и ее состав. ТЗ на изделие обычно разрабатывается НИИ на основе изучения технической, патентной и научной литературы, имеющих аналогов, результатов расчетов и т.п.

На стадии «Техническое предложение» проводится: анализ ТЗ и разработка конструкций изделия, их оценка и сравнение с аналогами, анализ патентных материалов, уточнение, согласование и утверждение ТЗ.

На стадии «Эскизный проект» на основании ТЗ разрабатываются: КД, содержащие данные об изделии, его назначении, принципах работы и т.п. Документам ЭП присваивается литера «Э» и они являются основанием для разработки Технического проекта или рабочей документации.

Стадия «Технический проект» включает разработку следующих конструкторских документов: электрических и структурных схем, чертежей изделий, их габаритные, конструкторские и технические характеристики, расчеты надежности и другие документы, содержащие окончательные технические решения и дающие полное представление об изделии. Документам ТП присваивается литера «Т» и в них должна быть вся информация для разработки рабочей документации.

На стадии «Разработка рабочей документации» (Рабочий проект) выполняются рабочие чертежи с ТУ, содержащими все данные для изготовления, контроля и испытаний изделий: чертежи деталей и сборочных единиц, спецификации, инструкции и т.д.

На стадии «Изготовление и испытание опытного образца» (Изготовление и испытание опытной серии) производится обработка и корректировка

рабочих чертежей для запуска изделия в серийное производство. Окончательная корректировка КД осуществляется на стадии «Серийное или массовое производство».

На каждой стадии КПП разрабатывается свой комплект конструкторской документации. В КД входят графические (чертежи и схемы) и текстовые документы (ведомости, спецификации, пояснительные записки, ТУ и т.п.), правила оформления которых регламентируются стандартами ЕСКД.

ТПП включает:

- проведение комплекса работ по проектированию технологических процессов;
- конструирование и изготовление технологического оснащения (нестандартного оборудования, приспособлений, инструмента, средств механизации и автоматизации);
- разработку технологии и средств контроля;
- установку и освоение нового оборудования;
- расчеты норм расхода материалов, рабочей силы, производственных площадей;
- проектирование внутри- и межцехового транспорта;
- разработку системы планирования производства.

ТПП является совокупностью взаимосвязанных процессов. Она обеспечивает техническую готовность предприятия к выпуску изделий заданного качества при установленных сроках, объеме выпуска и материальных затратах. Без нее было бы невозможно освоение новых изделий, технического уровня и качества продукции, улучшение технико-экономических показателей работы.

Основные этапы работ ТПП проводятся параллельно с этапами КПП.

Таблица 1

Стадии (этапы) конструкторской и технологической подготовки производства

<u>КПП</u>	<u>ТПП</u>
Техническое задание	—
Техническое предложение	—
Эскизный проект	Предварительный проект
Технический проект	
Разработка рабочей документации на опытный образец	Разработка технологической документации
Изготовление и испытание опытного образца (серии)	Изготовление и испытание опытного образца (серии)
Серийное (или массовое) производство	Серийное (или массовое) производство

На стадиях ТЗ и «техническое предложение» ТД можно не разрабатывать. ТД, разработанной на стадии «Предварительный проект», присваивается литера «П». Этот этап соответствует стадиям «ЭП», «Технический проект»

КПП. «Предварительный проект» содержит перечни специальных и типовых ТП, ТЗ на разработку СТО. На стадии разработки рабочей документации проектируется ТД на изготовление и испытания опытного образца. По результатам этих испытаний корректируется КД и вносятся необходимые изменения в ТД и ей присваивается литера «О». После изготовления и испытаний установочной серии скорректированной ТД присваивается литера «А». Окончательно отработанные и проверенные в массовом или серийном производстве ТД имеют литеру «В».

ТПП осуществляется по правилам ЕСТПП. В соответствии с ГОСТ 14.001-71, ЕСТПП — это установленная государственными стандартами система организации и управления процессом ТПП, предусматривающая широкое применение прогрессивных типовых ТП, стандартной технологической оснастки и оборудования, средств механизации и автоматизации производственных процессов, инженерно-технических и управленческих работ. Она включает решение следующих функциональных задач:

- обеспечение технологичности конструкции изделия;
- разработку ТП;
- проектирование и изготовление средств технологического оснащения;
- организацию и управление процессом ТПП.

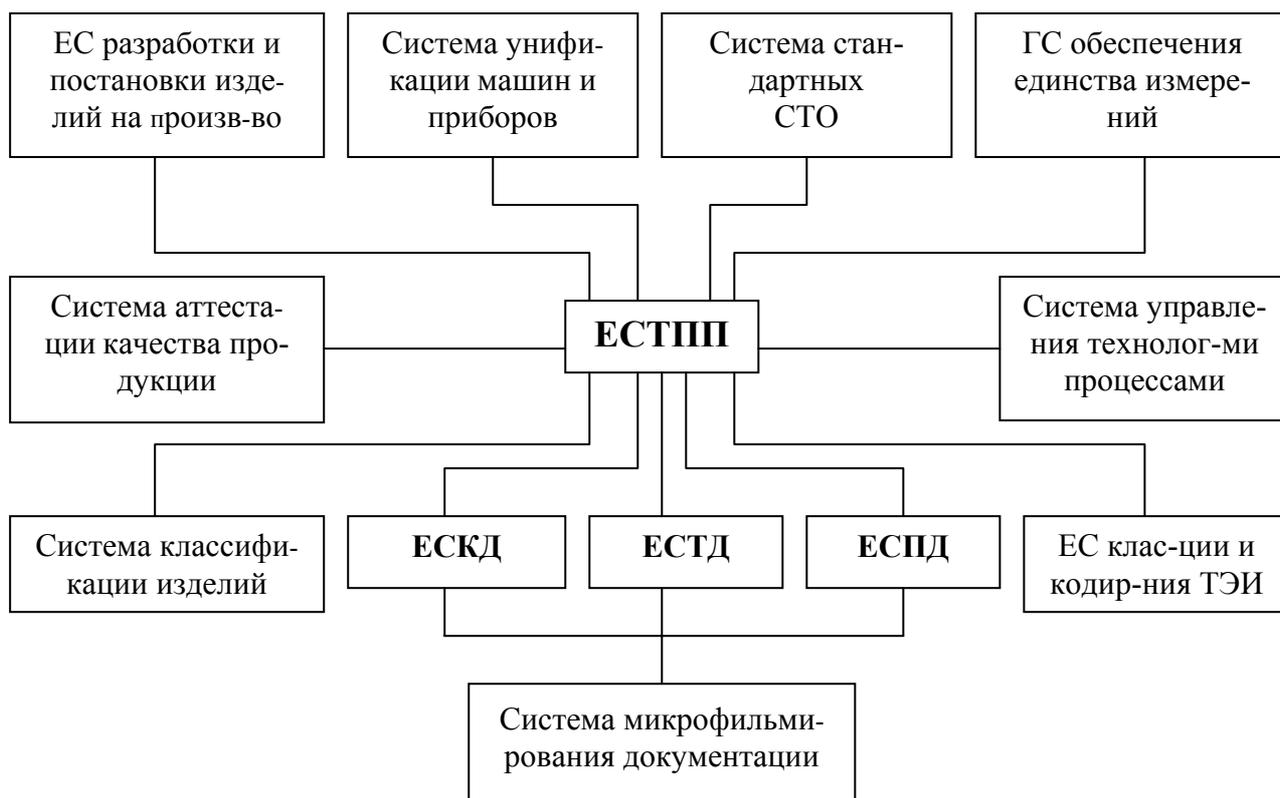


Рис. 1. Связи ЕСТПП с другими системами стандартов

Функционирование ЕСТПП в соответствии с ее назначением обеспечивается комплексным применением стандартов ЕСТПП, а также ОСТ и СТП-й, конкретизирующих и развивающих правила и положения ЕСТПП применительно к специфике отрасли и предприятия. В состав нормативно-технической и методической документации на методы и средства ТПП вхо-

дят (рис.1): ЕСТД; ЕСКД; ЕС классификации и кодирования технико-экономической информации; ЕС управления качеством продукции; Государственная система обеспечения единства измерений; нормативно-техническая документация на типовые и другие прогрессивные ТП и методы их типизации и стандартизации, СТО и методы их унификации, агрегатирования и стандартизации; средства механизации и автоматизации инженерно-технических работ, методы нормирования и др.; документация по механизации и автоматизации обработки информации; Система стандартов безопасности труда; Система управления промышленным предприятием.

## 2. Производственный и технологический процессы. Структура ТП

Производственный процесс (ГОСТ 14.004-83) — это совокупность действий людей, орудий труда и естественных процессов, необходимых для изготовления или ремонта продукции. Производственный процесс включает в себя не только изготовление деталей, но и подготовку производства, материально-техническое снабжение, ремонт и наладку оборудования, изготовление СТО и инструмента; цеховые и внутризаводские перевозки, технико-экономические и управленческие работы и др.

Производственный процесс делится на основной и вспомогательный (рис.2). В цехах основного производства изготавливается товарная продукция предприятия. Вспомогательные цехи выполняют обслуживание основных цехов: ремонт и наладку оборудования; изготовление СТО, режущего и **мерительного** инструмента; станочных приспособлений; нестандартного технологического оборудования; снабжение и др.

Технологический процесс (ТП) — это часть производственного процесса, содержащая целенаправленные действия, направленные на преобразование сходных материалов и комплектующих в готовое изделие. Различают ТП изготовления деталей, сборки, настройки, регулировки, контроля и сдачи изделия. Основу ТП изготовления деталей составляют: действия, направленные на изменение размеров и формы заготовки, а также изменение ее свойств (ГОСТ 3.1109-82).

Материал — исходный предмет труда, потребляемый для изготовления изделия.

Заготовка — предмет труда, из которого изменением формы, размеров, свойств поверхности и (или) материала изготавливают деталь.

Основой ТП является технологическая операция (ТО). Технологическая операция — это законченная часть ТП, выполняемая на одном рабочем месте (одним или несколькими рабочими, а также в условиях безлюдной технологии). То есть технологическая операция охватывает все действия оборудования и рабочих над одним или несколькими совместно обрабатываемыми или собираемыми изделиями. Могут быть исключения: при работе на автомате ТО есть, но нет рабочего (есть наладчик); при естественном старении нет станка и рабочих, а операция старения остается.



Рис.2. Структура производственного процесса

Группа ТО, выполненных последовательно и имеющих признак общности, образует этап ТП. Например, этап подготовки поверхности под покрытие. Группирование ТО в этапы упрощает описание сложных ТП, состоящих из десятков и сотен ТО.

ТП должен содержать минимально возможное количество операций. В этом случае уменьшается потребность в оборудовании, рабочей силе, вспомогательных материалах и т.д., то есть уменьшается себестоимость изготовления изделия.

Элементами ТО являются: установ, позиция, переход, ход.

Установ (установка) — это часть ТО, выполняемая при неизменном закреплении заготовки. Пример — обработка торцов валика в 2 установа. Для получения максимальной точности взаимного расположения поверхностей их обработку надо производить с одного установа. Минимизация количества установов достигается с помощью приспособлений. Находясь в приспособлении, заготовка может менять свое положение относительно инструмента, то есть занимать различные позиции.

Позиция — это фиксированное положение, занимаемое неизменно закрепленной заготовкой или сборочной единицей совместно с приспособлением относительно инструмента или оборудования при выполнении определенной части операции.

Многопозиционная обработка (например, на многошпиндельном автомате) значительно сокращает время на обработку.

Установы разделяют на технологические переходы. Технологический переход — законченная часть технологической операции, выполняемая од-

ними и теми же СТО при постоянных технологических режимах и установках. Для повышения производительности ТО количество переходов должно быть минимальным, это достигается при использовании многоинструментальных накладок и комбинированных инструментов. Технологические переходы состоят из рабочих и вспомогательных ходов.

Рабочий ход — законченная часть технологического перехода, состоящая из однократного перемещения инструмента относительно заготовки, сопровождаемого изменением ее формы, размеров, качества поверхности или свойств.

Вспомогательных ход — законченная часть технологического перехода, состоящая из однократного перемещения инструмента относительно заготовки, не сопровождаемого изменением ее формы, размеров, качества поверхности или свойств, но необходимого для выполнения рабочего хода. Например, подвод и отвод инструмента. На каждый рабочий ход имеется несколько вспомогательных. Для повышения производительности труда количество рабочих и вспомогательных ходов должно быть сведено к минимуму. Это достигается применением точных заготовок и прогрессивных ТП.

Для выполнения ТО необходимы вспомогательные переходы — законченная часть ТО, состоящая из действий человека и (или) оборудования, которые не сопровождаются изменением свойств предметов труда, но необходимы для выполнения технологических переходов. Например, закрепление заготовки, смена инструмента и др. ТО надо разрабатывать так, чтобы количество и сложность вспомогательных переходов была наименьшая. Например, при установке заготовки в трехкулачковый патрон, ее нужно выверять, а при установке в патрон выверка не нужна.

### 3. Тип и вид производства

Под типом производства понимается классификационная категория производства, выделяемая по признакам широты номенклатуры, регулярности, стабильности и объемам выпуска изделий. Различают единичное, серийное (мелко-, средне- и крупно-) и массовое производство. Тип производства зависит от объема выпуска, загрузки оборудования, квалификации рабочих и др. организационно-технических характеристик. Он определяет характер, содержание и степень детализации разрабатываемых ТП. Для различных типов производства одного и того же изделия ТП могут различаться очень сильно. Согласно ГОСТ 3.1121-84, тип производства характеризуется коэффициентом закрепления операций:

$$K_{30} = O/P,$$

где  $O$  — количество различных технологических операций, выполняемых или подлежащих выполнению в течение месяца,  $P$  — количество рабочих мест, необходимых для выполнения этих операций. Для массового производства  $K_{30} = 1$ ; крупносерийного —  $1 < K_{30} \leq 10$ ; среднесерийного —  $10 < K_{30} \leq 20$ ; мелкосерийного —  $20 < K_{30} \leq 40$ . Для единичного производства  $K_{30} > 40$  и не регламентируется.

На стадии проектирования ТП и при использовании изделий-аналогов можно использовать методику оценки  $K_{30}$  по коэффициенту серийности:

$$K_{30} = \frac{T_{\epsilon}}{t_{ум.ср}},$$

где  $t_{ум.ср}$  — среднее штучное время для выполнения операций обработки единицы продукции;  $T_{\epsilon}$  — такт выпуска:

$$T_{\epsilon} = \frac{60F_{\delta}}{N} \left[ \frac{мин}{шт} \right],$$

где  $F_{\delta}$  — действительный годовой фонд времени работы станка или рабочего места;  $N$  — годовая программа выпуска изделия.

Единичное производство характеризуется широкой номенклатурой и малым объемом выпуска одинаковых изделий. Применяется универсальное оборудование и СТО, обслуживаемые высококвалифицированными рабочими, так как требуется выполнять разнообразные работы по изготовлению часто меняющихся изделий. Цикл изготовления продукции при единичном производстве наиболее длительный с высокой технологической себестоимостью (Табл.2).

Серийное производство характеризуется ограниченной номенклатурой изделий, изготавливаемых сравнительно большими периодически повторяющимися партиями. Используется высокопроизводительное универсальное, специализированное и специальное оборудование. Часть рабочих может иметь более низкую квалификацию. Применяется переналаживаемая быстродействующая СТО (для уменьшения объема ручных работ и увеличения производительности).

Таблица 2

Характеристика типов производства

Показатель ТП	Тип производства				
	Единичное	Мелкосерийное	Серийное	Крупносерийное	Массовое
Объем партии N, тыс. шт.	< 0,1	1 – 10	10 – 100	100 – 1000	> 1000
Коэффициент закрепления операции	$K_{30} > 40$	$20 < K_{30} < 40$	$10 < K_{30} < 20$	$1 < K_{30} < 10$	$K_{30} \leq 1$
Номенклатура изделий	Очень широкая		Широкая	Ограниченная	Узкая
Регулярность выпуска	Нет		Периодические партии		Непрерывный выпуск
Оборудование и СТО	Универсальное		Специализированное		Специальное
Квалификация рабочих	Высокая		Средняя		Низкая
Специализация рабочих мест	Отсутствует		На выполнение нескольких операций		На каждой операции
Детализация ТП	Маршрутный		Маршрутно-операционный	Операционный	Операционный

Технологическое оборудование располагается по типам станков, а предназначенное для обработки больших партий деталей — по ходу ТП (сокращается межоперационная транспортировка). Цикл изготовления изделий меньше, себестоимость ниже.

Массовое производство характеризуется узкой номенклатурой и большим объемом выпуска изделий, производимых непрерывно длительное время, в течение которого на большинстве рабочих мест выполняется одна рабочая операция. Применяется высокотехнологичное оборудование (автоматы и полуавтоматы, агрегатные и специальные станки, автоматические линии), специальная СТО, режущий и мерительный инструмент. Технологическое оборудование располагают в соответствии с последовательностью ТП, применяют автоматизацию. Производительность высокая, себестоимость самая низкая.

Вид производства — классификационная категория производства, выделяемая по признаку применяемого метода изготовления изделий. Различают: литейное, сварочное, механосборочное, обработку давлением, резанием и др. виды производства.

#### **4. Технологичность конструкции изделия**

Взаимосвязь конструкции изделия с технологией его изготовления обуславливает одну из наиболее сложных задач технической подготовки производства — отработку конструкций на технологичность. Без ее решения невозможен выпуск качественных изделий с низкой стоимостью и трудоемкостью. Обязательность отработки конструкции на технологичность на всех стадиях технической подготовки производства устанавливается стандартами ЕСТПП и всех отраслей.

Согласно ГОСТ 14.201-83, технологичность конструкции — это совокупность свойств конструкции, проявляемых в возможности оптимальных затрат труда, средств, материалов и времени при технической подготовке производства, изготовлении, эксплуатации и ремонте по сравнению с соответствующими показателями однотипных конструкций изделий того же назначения при обеспечении установленных значений показателей качества и условий изготовления, эксплуатации и ремонта.

Отработка конструкции на технологичность должна обеспечить снижение трудоемкости и стоимости как изготовления изделия, так и его обслуживания в ходе эксплуатации. Первое достигается за счет:

- повышения серийности за счет стандартизации, унификации и группирования изделий и их элементов по конструкционным признакам;
- ограничением номенклатуры конструкций и применяемых материалов;
- применением освоенных (но современных) конструктивных решений;
- снижением массы изделия;
- применением высокопроизводительных ТП и СТО.

Второе — рациональным выполнением конструкции, обеспечивающим удобство технического обслуживания и ремонта, а также повышением надежности и ремонтпригодности конструкции.

Таким образом, конструкция изделия будет технологичной, если при заданных типе, организации, программе и повторяемости производства, применяемых ТП она будет наименее трудо-, материалоемкой и дорогой в изготовлении, удобной и надежной в эксплуатации, простой в ремонте.

Следует учитывать, что изделия технологичные для массового и крупносерийного производства нетехнологичны для мелкосерийного и единичного производства.

(д а т ь п р и м е р)

Главными факторами, определяющими требования к технологичности конструкции, являются: вид изделия, объем выпуска и тип производства. Последовательность анализа технологичности на рис.3.

Технологичности конструкции оценивают качественно и количественно. Качественная оценка предшествует количественной и проводится на всех стадиях проектирования на основании опыта разработчиков в случае, когда нет необходимости определять точно различие технологичности вариантов конструкции. Такая оценка субъективна.

Количественные показатели технологичности в стадиях ЕСТПП классифицируются по:

1. Области проявления: производственные и эксплуатационные. Производственная технологичность проявляется в сокращении средств и времени на КПП и ТПП, а также процессы изготовления изделия. Эксплуатационная — в сокращении затрат на техническое обслуживание.

2. Количеству признаков технологичности: частные и комплексные.

3. Способу выражения: абсолютные (численно характеризуют признаки технологичности) и относительные, дающие сравнительную характеристику технологичности.

4. Области анализа: технические и технико-экономические.

5. Системе оценки: базовые (исходные) (приводятся в ТЗ для представителя данной группы изделий с общими конструкционными признаками); показатели технологичности разрабатываемой конструкции (полученные в ходе изготовления) и показатели уровня технологичности (отношение второго к первому).

6. Значимости — основные и дополнительные. Состав показателей технологичности, методика и точность их определения изменяются по мере уточнения конструкционных решений. Причем точность возрастает на каждой стадии технической ПП. Состав показателей технологичности устанавливается отраслевыми стандартами, согласно ГОСТ 14.201-83 и ГОСТ 14.202-83, их количество должно быть минимальным, но достаточным (определяется применительно к конкретным условиям).

Показатели технологичности конструкции разделяют на основные (технико-экономические) и дополнительные (технические, конструкторские и технологические). К основным относятся:

- абсолютный технико-экономический показатель ТКИ (трудоемкость изготовления):

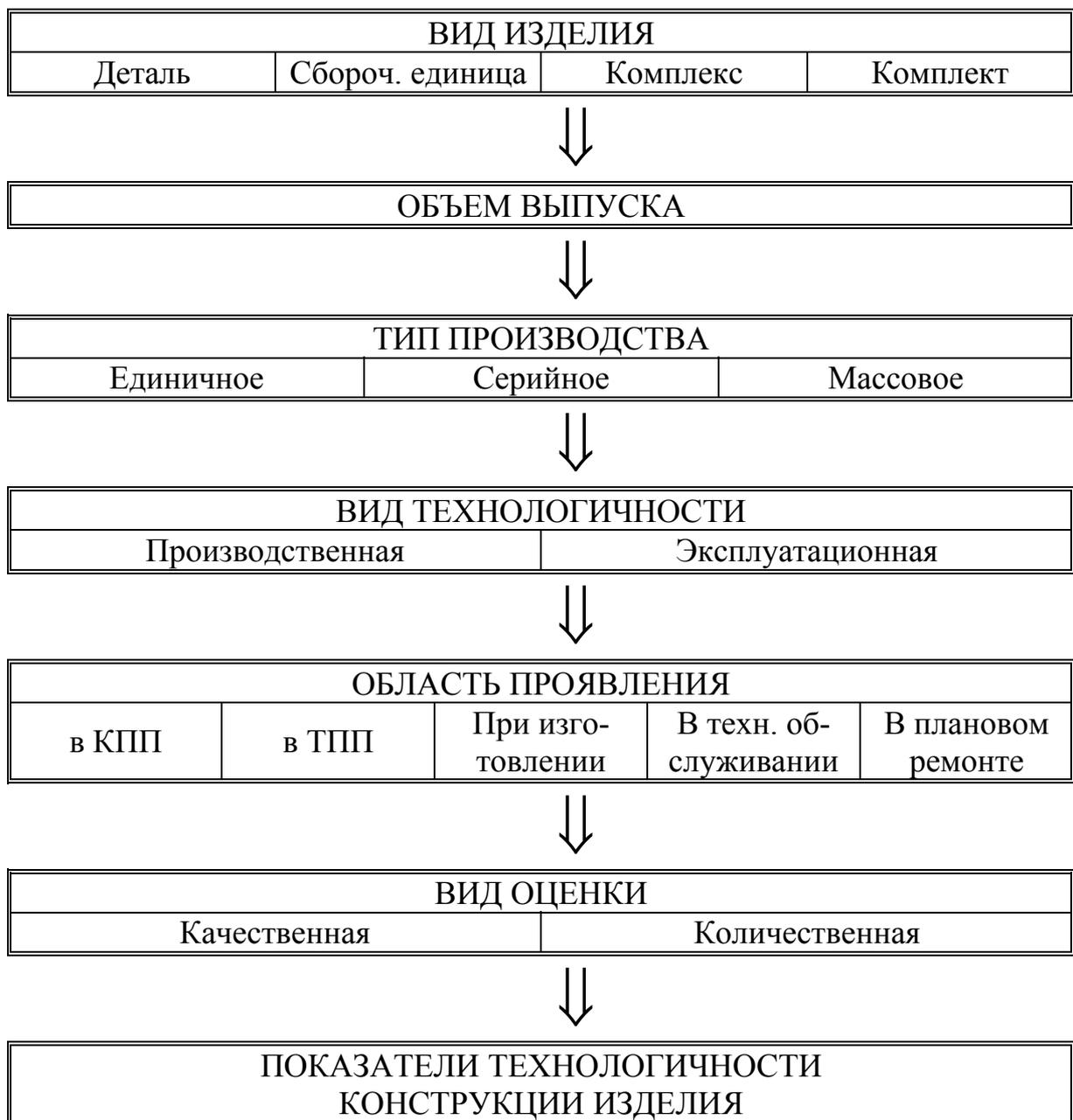


Рис. 3. Последовательность анализа технологичности конструкции изделия

$$T_n = \sum_{i=1}^n T_i,$$

где  $T_i$  — трудоемкость изготовления и испытаний  $i$ -й составляющей изделия, **нормочас**;  $n$  — количество составляющих;

- уровень технологичности по трудоемкости:

$$K_{y.m} = \frac{T_n}{T_{б.n}},$$

где  $T_{б.n}$  — базовый показатель трудоемкости;

- технологическая себестоимость изделия:

$$C_m = C_m + C_3 + C_{ин} + C_o, \text{ руб.}$$

Здесь  $C_m$  — расходы на сырье и материалы (без реализации отходов);  $C_3$  — основная заработная плата;  $C_{ин}$  — расходы на инструмент и СТО;  $C_o$  — расходы на содержание и эксплуатацию оборудования;

- уровень технологичности по технологической себестоимости:

$$K_{y.c} = C_m / C_{б.м},$$

где  $C_m$  — достигнутый показатель технологической себестоимости разрабатываемого изделия;  $C_{б.м}$  — базовый показатель технологической себестоимости изделия-прототипа.

К дополнительным показателям технологичности относятся дополнительные технико-экономические (относительные трудоемкости заготовительных работ, ремонтов, относительные и удельные себестоимости отдельных видов работ) и технические (конструкторские и технологические) показатели.

На стадиях проектирования ТКИ оценивается по комплексным показателям технологичности входящих в изделие функционально законченных узлов (ФЗУ). ФЗУ электронно-оптических систем и РЭС подразделяются на 4 группы:

- электронные;
- радиотехнические;
- коммутационные;
- электромеханические.

Для изделий каждой из этих групп отраслевой стандарт устанавливает перечень частных (конструкторских и технологических) показателей  $K_i$  с их уровнями значимости.

Детали конструктивной базы ЭОС входят в группу электромеханических ФЗУ. Их ТКИ оценивается по следующим показателям (с уровнем значимости):

1. Коэффициент применяемости стандартных (унифицированных) конструктивных элементов (формируется при стандартных движениях резания):

$$K_{ст.э} = \frac{Q_{ст.э}}{Q_{кэ}}; \quad \varphi_{ст.э} = 1,$$

где  $Q_{ст.э}$  и  $Q_{кэ}$  — количество стандартных и общее количество конструктивных элементов детали.

2. Коэффициент точности обработки:

$$K_T = 1 - \frac{1}{A_{cp}}, \quad \text{где } A_{cp} = \frac{n_{11} + 2 * n_{10} + 3 * n_9 + \dots}{n_{11} + n_{10} + \dots},$$

где  $n_{11}$  — количество поверхностей с соответствующим качеством.  $\varphi_T = 1$ .

3. Коэффициент шероховатости:

$$K_{III} = \frac{1}{B_{cp}} = \frac{n_1 + n_2 + \dots + n_{14}}{n_1 + 2 * n_2 + \dots + 14 * n_{14}},$$

где  $n_1$  – количество поверхностей с классами, соответствующими классам шероховатости.  $\varphi_{III} = 1$

4. Коэффициент использования унифицированных ТП:

$$K_{y_{mn}} = \frac{Q_{y_{mn}}}{Q_{общ}}$$

где  $Q_{y_{mn}}$  – количество операций ТП, взятых из унифицированного ТП.  $\varphi = 0,5$ .

5. Коэффициент повторяемости конструктивных элементов:

$$K_{ПКЭ} = \frac{Q_{ткэ}}{Q_{общ}}$$

где  $Q_{ткэ}$  – количество типоразмеров элементов;  $Q_{общ}$  – общее количество конструктивных элементов.  $\varphi = 0,3$ .

6. Коэффициент применения прогрессивных методов формообразования:

$$K_{np.m} = \frac{Q_{np}}{Q_0}$$

где  $Q_{np.m}$  – количество операций с прогрессивным методом обработки.  $\varphi=0,2$ .

7. Коэффициент использования материала:

$$K_{исп} = \frac{m_d}{m_{заг}} = \frac{S_d}{S_{заг}}$$

где  $m_d$  – масса детали;  $m_{заг}$  – масса заготовки.  $\varphi=0,1$ .

Хотя технологичность можно оценивать на основе технико-экономических показателей, чаще применяется комплексная оценка:

$$K = \frac{\sum_{i=1}^S K_i \varphi_i}{\sum_{i=1}^S \varphi_i},$$

где  $K_i$  — частный (основной и дополнительный) показатель ТКИ;  $\varphi_i$  — весовое значение  $i$ -го показателя;  $S$  — число показателей.

Отработка конструкции изделия на технологичность производится на всех стадиях проектирования. На стадии «ТЗ» по аналогам устанавливаются базовые показатели технологичности и допустимые отклонения от них. На стадии «Техническое предложение» определяется оптимальный вариант с составными частями изделия, требующие применения новых ТП и СТО. На стадии «Эскизный проект» отрабатываются конструкторские схемы и компоновки с учетом используемых материалов. При выполнении технического проекта принимаются окончательные решения по обеспечению технологичности всего изделия и его составных частей. Окончательная отработка на технологичность осуществляется на завершающих стадиях технической подготовки производства.

## 5. Показатели качества продукции

Качество продукции — совокупность свойств продукции, обуславливающих ее пригодность удовлетворять определенные потребности в соответствии с ее назначением.

Технический уровень — относительная характеристика качества продукции, основанная на сопоставлении показателей, характеризующих ее техническое совершенство, с соответствующими базовыми значениями.

Надежность — свойство объекта выполнять заданные функции, сохраняя эксплуатационные показатели в заданных пределах, соответствующих заданным режимам и условиям использования, технического обслуживания, хранения и транспортировки. Это комплексное свойство и может включать безотказность, долговечность, ремонтпригодность и сохраняемость (как по отдельности, так и в сочетании).

Безотказность — свойство объекта непрерывно сохранять в течение некоторого времени или некоторой наработки.

Долговечность — свойство сохранять работоспособность до наступления предельного состояния при соблюдении режимов технического обслуживания и ремонта. Оценивается ресурсом или средним сроком службы.

Сохраняемость — свойство объекта сохранять исправное и работоспособное состояние в течении и после хранения и (или) транспортировки.

Качество продукции оценивают с помощью показателей.

Показатель качества — количественная характеристика одного или нескольких свойств продукции, составляющих ее качество, рассматриваемая применительно к определенным условиям ее создания, эксплуатации или потребления.

Классификация групп показателей качества по ГОСТ 22851-77 дана на рис.4.

Показатели назначения — характеризуют свойства продукции выполнять функции, для которых она предназначена и определяют область ее применения.

Эргономические показатели — характеризуют систему человек — изделие и учитывают комплекс гигиенических, аксонометрических, физиологических и психологических свойств человека.

Показатели технологичности — характеризуют продукцию по затратам материалов, средств, труда и времени при технической подготовке ее производства, изготовлении и эксплуатации.

Эстетические показатели — характеризуют выразительность и рациональность формы, целостность композиции, совершенство исполнения и товарный вид.

Показатели унификации — характеризуют насыщенность стандартными, унифицированными и оригинальными составными частями (коэффициенты применяемости, повторяемости).

Экологические показатели — характеризуют уровень вредных воздействий на окружающую среду, возникающих при эксплуатации или потреблении.

Показатели безопасности — характеризуют продукцию по безопасности людей при потреблении и эксплуатации. При этом исходят из требова-

ПРИЗНАК КЛАССИФИКАЦИИ	ГРУППЫ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА
По характеризваемым свойствам	Показатели назначения, надежности, технологичности, унификации, безопасности и др.; эргономические, эстетические, экологические, патентно-правовые и др.
По способу выражения	Показатели, выраженные в натуральных (кг, м, баллы, безразмерные и др.) и стоимостных единицах
По количеству характеризваемых свойств	Единичные и комплексные (групповые, обобщенные, интегральные)
По применению для оценки	Базовые и относительные показатели
По стадии определения значений показателей	Прогнозируемые, проектные, производственные и эксплуатационные

Рис.4. Классификация групп показателей качества продукции по ГОСТ 22851-77.

ний стандартов на ТБ, пожарной безопасности, производственной санитарии.

Единичный показатель качества — характеризует одно из ее свойств.

Комплексный показатель качества — характеризует несколько свойств продукции.

Обобщенный показатель качества — это комплексный, определяющий показатель качества (по нему принимают решение).

Интегральный показатель качества — отношение суммарного полезного эффекта от эксплуатации или потребления продукции к суммарным затратам на ее создание, эксплуатацию или потребление.

Эксплуатационные показатели качества Э связаны с конструктивными параметрами изделия К (качество материала, геометрическая точность,  $R_a$  ( $R_z$ ) и др.), задаваемыми в КД. В свою очередь К обусловлены технологией изготовления, контроля и испытаний изделия, то есть с параметрами техпроцесса Т.

**Физико-технологическая теория размерных параметров (ФТТРП)** занимается установлением взаимосвязи между параметрами Э, К и Т и лежит в основе научного управления качеством продукции. К размерным парамет-

рам относятся не только любые размеры, но и другие зависящие от них характеристики ( $\Delta l$ ,  $R_a$ , свойства материала,  $\rho$  и т.д.).

Главные предпосылки ФТТРП:

1. Имеются зависимости вида:

$$\begin{aligned} \mathcal{E}_i &= F_i(K_1, K_2, \dots, K_n), \\ K_j &= \Phi_k(T_1, T_2, \dots, T_m). \end{aligned}$$

2. Заданный уровень качества, то есть  $\mathcal{E}_{ном}$  и допуск  $\delta\mathcal{E}_i$ , обеспечивается регламентацией (нормированием) параметров  $K_j$ ,  $\delta K_j$ ,  $T_k$ , и  $\delta T_k$ , то есть назначением конструкторских и технологических допусков. Для физически обоснованных (имеющих функциональную зависимость) параметров это сводится к задаче нахождения зависимостей:

$$\begin{aligned} \delta\mathcal{E}_i &= f_{\delta\mathcal{E}}(\delta K_1, \delta K_2, \dots, \delta K_n), \\ \delta K_j &= \varphi_{\delta K}(\delta T_1, \delta T_2, \dots, \delta T_m). \end{aligned}$$

3. Каждый размерный параметр и зависящие от него величины обусловлены совместным воздействием управляемых и неуправляемых технологических параметров, то есть содержат случайную и систематическую составляющие.

Таким образом, научно обоснованное нормирование точности возможно, если имеются зависимости эксплуатационных, конструкторских и технологических параметров, а также возможен контроль физически обоснованных параметров в процессе изготовления изделий. Если этого нет, используются полуэмпирические формулы, экспериментальные данные или справочные материалы.

## **6. Точность производства. Производственные погрешности и устойчивость ТП**

Под точностью производства понимают степень соответствия изделия заданным размерам, форме и другим характеристикам, вытекающим из его назначения. Это один из основных критериев качества и надежности изделия.

Обеспечение точности — комплексная проблема, которая решается, если вопросы точности, производительности и экономичности рассматриваются во взаимосвязи. Различают экономичную и достижимую точность. Экономичная точность — это точность, получаемая на оптимальных режимах обработки. Такие режимы приводятся в нормативных документах. Достижимая — это максимально возможная точность, получаемая при имеющихся производственных условиях и квалификации рабочих. Она требует значительно больших затрат труда, времени, ресурсов и т. п.

Проблема точности решается на всех этапах создания изделия: при его проектировании, технической подготовке производства, изготовлении, контроле. Удовлетворяя научно обоснованные требования к точности изготовле-

ния изделий, мы достигаем заданного уровня качества при оптимальной себестоимости и высоком уровне технологичности.

Причинами отклонения выполняемого ТП от расчетного, несоответствия характеристик реального изделия от требуемых по КД и ТУ называются погрешностями. Они могут быть конструкторскими и производственными. Производственные погрешности в основном и определяют технологическую точность изделия, то есть степень соответствия его параметров установленным допускам. Анализ точности ТП позволяет для каждой технологической операции вскрыть причины производственных погрешностей, обосновать границы технологического допуска, правильно построить ТП и выбрать экономичный метод достижения требуемой точности.

Производственные погрешности бывают двух видов: случайные и систематические. К систематическим относятся погрешности постоянные и меняющиеся по известному закону (прогрессирующие). Они обусловлены несовершенством методов и средств измерения, износом оборудования, СТО и инструмента, отклонением свойств материала и условий обработки и др. В большинстве случаев причины их возникновения известны или могут быть установлены. Случайные погрешности являются следствием невыясненных случайных воздействий. Для их количественной оценки используется математический аппарат теории вероятности и математической статистики. Если в изменении случайной погрешности имеется закономерность, это позволяет установить функцию их распределения.

Это деление условно и может быть переход первого вида производственных погрешностей во второй.

Отклонения выполняемого ТП от расчетного называется первичными производственными погрешностями. Их 4 группы: теоретические, погрешности настройки, установки и обработки.

Теоретические погрешности связаны с сознательным применением приближенной схемы обработки и инструмента с приближенными профилями.

Погрешности настройки возникают из-за неточности устройств, примененных при наладке технологического оборудования, и квалификации наладчика. В условиях изготовления одной партии изделий их считают постоянными систематическими, для совокупности ряда партий — случайными и находят по соответствующим вероятностным законам.

Погрешности установки являются геометрической суммой погрешностей базирования, закрепления и приспособления (несовпадение баз, деформация и смещение детали, точность изготовления и износ СТО и др.).

Погрешности обработки сводятся в 2 группы: независимые и зависящие от нагрузки. Независимые от нагрузки обусловлены неточностями оборудования, инструмента и СТО (растут при износе), погрешностей измерения и др. Зависящие от нагрузки возникают за счет упругих и температурных деформаций оборудования и СТО, размерного износа инструмента, внутренних напряжений и деформации детали и др.

Кроме понятия точности, есть понятие устойчивости ТП. Под устойчивостью ТП понимают его способность длительное время сохранять нормальное состояние без подналадки. Полная устойчивость ТП обеспечивается в том случае, если колебания проверяемых признаков качества точно соответствует нормальному закону распределения. Производственные погрешности взаимно независимы, носят случайный характер и среди них нет доминирующих. То есть понятие устойчивости является относительным — с течением времени оно нарушается из-за появления систематических производственных погрешностей (износ, разладка, деформация и др.). Для оценки устойчивости ТП применяется метод точностных диаграмм — кривых распределения производственных погрешностей изучаемого параметра от времени.

Коэффициент устойчивости по параметру  $y$  :

$$T_y = S_{n.o} / S_{n\Sigma},$$

где  $S_{n.o}$  — предельное отклонение параметра за счет случайных колебаний;  $S_{n\Sigma}$  — общее предельное отклонение.

Для устойчивого ТП  $T_y = 1$ . Дополнительной характеристикой устойчивости ТП является число подналадок оборудования  $H$  за наблюдаемый период времени  $t$  и коэффициент длительности между подналадками  $T_n$  :

$$T_n = \frac{t}{H}.$$

## 7. Методы анализа производственных погрешностей

Производственные погрешности могут быть оценены расчетно-аналитическими и экспериментально-статистическими методами, которые не исключают, а взаимно дополняют друг друга.

Все аналитические методы предполагают, что имеется явная аналитическая зависимость между производственными погрешностями и причинами, их вызывающими.

Пусть известна функциональная связь между каким-либо выходным параметром изделия  $y$  и входными параметрами  $q_i$  ( $i=1,2,\dots,n$ ), характеризующими ТП его изготовления:

$$y = f(q_1, q_2, \dots, q_n) \quad (1)$$

Очевидно, что всякие отклонения  $y$  и  $q_i$  от расчетных будут представлять собой производственные погрешности изделия и первичные производственные погрешности ТП, которые могут быть как случайными, так и систематическими. Чтобы установить между  $y$  и  $q_i$  аналитическую связь, используем дифференциальное исчисление в предположении, что среди производственных погрешностей нет доминирующих,  $q_i$  взаимозаменяемы и функция  $f$  непрерывна, то есть имеет производные при любых  $q$ . Тогда полный дифференциал  $dy$  :

$$dy = \frac{\partial y}{\partial q_1} dq_1 + \frac{\partial y}{\partial q_2} dq_2 + \dots + \frac{\partial y}{\partial q_n} dq_n, \gg$$

где  $dy$  и  $dq_i$  — не что иное, как производственные погрешности изделия и ТП его изготовления. Переходя от дифференциалов к конечным приращениям, то есть полагая  $dq_i \approx \Delta q_i$ , что допустимо при малых  $\Delta q_i$ , получим абсолютную погрешность входного параметра изделия в виде:

$$\Delta y = \frac{\partial y}{\partial q_1} \Delta q_1 + \frac{\partial y}{\partial q_2} \Delta q_2 + \dots + \frac{\partial y}{\partial q_n} \Delta q_n = \sum_{i=1}^n \frac{\partial y}{\partial q_i} \Delta q_i.$$

Относительная погрешность изделия  $\Delta y/y$  как функция относительных первичных производственных погрешностей  $\Delta q_i/q_i$  ТП:

$$\frac{\Delta y}{y} = \sum_{i=1}^n A_i \frac{\Delta q_i}{q_i},$$

где  $A_i$  — весовые коэффициенты, характеризующие меру влияния погрешностей входных параметров  $\Delta q/q$  на выходную погрешность изделия  $\Delta y/y$ .

Значения  $A_i$  могут быть определены как аналитическим путем, так и экспоненциально. Например, используя метод частных производных, можно показать, что:

$$A_i = \frac{\partial f(q_i)}{f(q_i)} \bigg/ \frac{\partial q_i}{q_i}.$$

Те же значения  $A_i$  можно получить экспоненциально, используя, например, метод малых приращений:

$$A_i = \frac{\partial y}{y} \bigg/ \frac{\Delta q_i}{q_i}.$$

Поскольку значения погрешностей  $\Delta y/y$  и  $\Delta q_i/q_i$  представляют собой случайные величины, то оценивают среднее значение  $\Delta y/y$  как математическое ожидание погрешности изделия:

$$M\left(\frac{\Delta y}{y}\right) \approx \sum_{i=1}^n \frac{A_i}{n} \cdot \frac{\Delta q_i}{q_i}.$$

Если входные параметры (характеристики ТП), например,  $x$  и  $y$ , имеют между собой корреляционную связь, то половину поля отклонения выходного параметра изделия  $\delta_{\bar{y}}$  можно определить по следующей формуле:

$$\delta_{\bar{y}} = \sqrt{\sum_{i=1}^n A_i^2 K_i^2 \delta_i^2 + \sum_{x,y} 2r_x r_y A_x K_x \delta_x A_y K_y \delta_y},$$

где  $r_x$  и  $r_y$  — коэффициенты корреляции взаимосвязанных параметров;  $\delta_i$ ,  $\delta_x$  и  $\delta_y$  — половины полей реальных отклонений параметров  $i$ ,  $x$  и  $y$ ;  $K_i$ ,  $K_x$ ,  $K_y$  — коэффициенты относительного рассеивания параметров  $i$ ,  $x$  и  $y$ , определяемые из выражения:

$$K_i = \frac{3\sigma_i}{\delta_{i(TP)}},$$

где  $\sigma_i$  — среднеквадратичное отклонение  $i$ -го параметра;  $\delta_{i(TV)}$  — половина поля допуска  $i$ -го параметра по ТУ.

Более простым и приближенным является метод оценки производственных погрешностей, математическую основу которого составляет теория рядов Тейлора. Имеется аналитическая связь между  $y$  и  $q_i$ . Рассмотрим простейший случай одного входного параметра  $q$ , а затем обобщим его на общий случай многих  $q_i$ .

Если  $y = \varphi(q)$ , то можно утверждать, что погрешность аргумента  $dq$  вызовет появление ошибки в функции  $y$ :

$$y + dy = \varphi(q + dq).$$

Разложим правую часть уравнения в ряд Тейлора:

$$y + dy = \varphi(q) + \varphi'(q)dq + \varphi''(q)\frac{(dq)^2}{2!} + \dots$$

Пренебрежем нелинейными членами ввиду их малости:

$$y + dy \approx \varphi(q) + \varphi'(q)dq, \text{ то есть } dy \approx \varphi'(q)dq.$$

Полагая (как и раньше)  $dy \approx \Delta y$  и  $dq \approx \Delta q$ , получаем:

$$\Delta y \approx \varphi'(q)\Delta q.$$

Величину  $\varphi'(q)$  называют коэффициентом влияния параметра  $q$  на параметр  $y$ . Относительная погрешность изделия по параметру  $y$ :

$$\frac{\Delta y}{y} \approx \frac{\varphi'(q) \cdot \Delta q}{\varphi(q)} = d[\ln \varphi(q)].$$

Сделаем обобщение. Если имеется  $n$  входных параметров, то выражения для  $\Delta y$  и  $\Delta y/y$  примут вид:

$$\Delta y_n \approx \sum_{i=1}^n \varphi'(q)\Delta q_i, \quad \frac{\Delta y_n}{y} \approx d[\ln \varphi(q_i)].$$

Рассмотренные расчетные методы требуют обязательного получения аналитического выражения выходного параметра изделия как функции всех входных параметров (параметров ТП). Это не всегда возможно. Тогда используются экспериментальные методы, позволяющие получить математические модели связи входных и выходных параметров. Наибольшими возможностями обладает метод статистического планирования эксперимента в сочетании с регрессионным анализом опытных данных. Расчеты сопровождаются строгой оценкой адекватности получаемого уравнения и значимости его коэффициентов.

При планировании эксперимента математическую модель ТП ищут в виде полинома типа:

$$y = b_0 + \sum_{i=1}^n b_i x_i + \sum_{i \neq j}^n b_{ij} x_i x_j + \sum_{i \neq j \neq k}^n b_{ijk} x_i x_j x_k + \dots,$$

где  $y$  — выходной параметр (часто критерий оптимизации);  $b_0, b_i, b_{ij}$  и  $b_{ijk}$  — коэффициенты уравнения регрессии;  $x_i, x_j, x_k$  — входные параметры (параметры ТП).

## 8. Качество поверхности

В понятие качества поверхности входит целый ряд характеристик, определяющих, с одной стороны, геометрические параметры реальной поверхности, а с другой — ее физико-механические свойства.

Физико-механические свойства поверхностного слоя характеризуются глубиной и степенью упрочнения (наклепа), а также значениями остаточных напряжений, глубиной их проникновения и знаком.

Геометрические параметры обработанной поверхности характеризуются следующими отклонениями от геометрической формы: макрогеометрией (бочкообразность, конусность, овальность, неплоскостность и т. д.) и микрогеометрией (шероховатость и волнистость).

Критерием для условного разграничения шероховатости и других отклонений формы поверхности служит отношение шага  $S$  к высоте неровности  $Rz$ ; при  $S/Rz < 50$  — шероховатость; при  $S/Rz = 50 \dots 1000$  — волнистость поверхности; при  $S/Rz > 1000$  — макрогеометрические отклонения.

Погрешности геометрической формы должны укладываться в допуск на размер в соответствии с заданной точностью изготовления детали.

Под *точностью обработки* понимают степень соответствия формы, размеров и положения обработанной поверхности требованиям чертежа и технических условий. Точность размеров обработанной детали определяется допусками, т. е. разностью между наибольшим и наименьшим предельными размерами. Допуск, величина которого зависит от номинального размера, обозначается одной или двумя арабскими цифрами (кавалитет). ЕСДП СЭВ для всех диапазонов размеров устанавливает 19 квалитетов, которые имеют номера 01, 0,1, 2...16, 17. Ориентировочная применяемость квалитетов: квалитеты 01—7 — допуски средств измерения; квалитеты 4—12 — допуски размеров в посадках; квалитеты 12—17 — допуски неотчетливых размеров (несопрягаемых или в грубых соединениях).

Предельные отклонения формы и размеров на рабочих чертежах деталей указывают условными обозначениями в соответствии с ГОСТом или оговаривают в технических требованиях на изготовление детали. Числовые значения допусков, соответствующих указанным выше квалитетам установлены ГОСТ 25346—82.

Одной из основных геометрических характеристик качества поверхности деталей, является ее шероховатость. *Шероховатость поверхности* — это совокупность неровностей поверхности с относительно малыми шагами  $S$  на базовой длине  $l$ . Шероховатость поверхности, направленную перпендикулярно к движению резания, называют поперечной, а в направлении, параллельном ему, — продольной. Наибольшее практическое применение имеет попе-

речная шероховатость. Базой для отсчета отклонений профиля является средняя линия профиля  $m$  (рис.5).

Для количественной оценки шероховатости ГОСТ 2789—73 устанавливает шесть параметров:

1. Среднее арифметическое отклонение профиля  $R_a$  — это среднее арифметическое абсолютных значений отклонений профиля в пределах базовой длины:

$$R_a = \frac{1}{l} \int_0^l |Y(x)| dx, \text{ приближенно } R_a = \frac{Y_1 + Y_2 + \dots + Y_n}{n} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |Y_i|,$$

где  $l$  — базовая длина;  $n$  — число измеренных точек профиля на базовой длине.

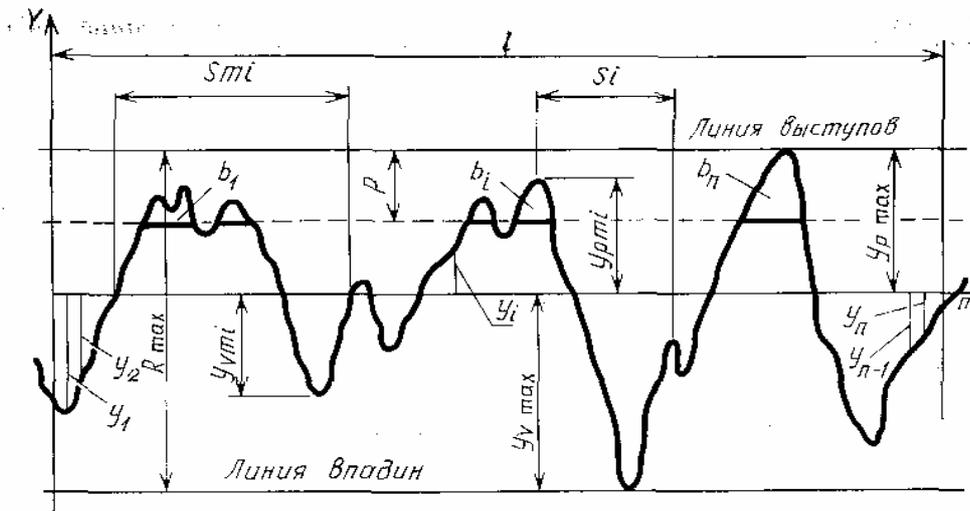


Рис.5. Параметры шероховатости поверхности

2. Высота неровностей профиля по десяти точкам  $R_z$  — сумма средних абсолютных значений высот пяти наибольших выступов профиля и глубины пяти наибольших впадин профиля в пределах базовой длины:

$$R_z = \frac{1}{5} \left( \sum_{i=1}^5 |Y_{ip \max}| + \sum_{j=1}^5 |Y_{jv \max}| \right),$$

где  $Y_{ip \max}$  — высота  $i$ -го наибольшего выступа профиля;  $Y_{jv \max}$  — глубина  $j$ -й наибольшей впадины профиля.

3. Наибольшая высота неровностей профиля  $R_{\max}$  — расстояние между линией выступов и линией впадины профиля в пределах базовой длины.

4. Средний шаг неровностей профиля  $S_m$  — среднее значение шага неровностей профиля по средней линии  $m$  в пределах базовой длины.

5. Средний шаг местных выступов профиля  $S$  — среднее значение шагов местных выступов профиля (по вершинам), находящихся в пределах базовой длины.

6. Относительная опорная длина профиля  $t_p$  — отношение опорной длины профиля  $\eta_p$  к базовой длине  $l$ :

$$t_p = \frac{\sum_{i=1}^n b_i}{l} = \frac{\eta_p}{l},$$

где  $b_i$  — опорная длина профиля, равная сумме длин отрезков, отсекаемых на заданном уровне в материале профиля линией, эквидистантной средней линии в пределах базовой длины.

## 8. Проектирование ТП изготовления деталей

### 8.1. Основные положения

Разработка технологических процессов (ТП) — одна из основных функций технологической подготовки производства (ТПП). Ей должны предшествовать отработка на технологичность и группирование изделий по конструкционным и технологическим признакам. В период подготовки производства изделий средней и повышенной технологической сложности разрабатывается большое количество самых различных технологических процессов. В соответствии с Р50-54-93-88 все технологические процессы подразделяются на *единичные, типовые и групповые*.

Единичный технологический процесс (ЕТП) — это ТП изготовления или ремонта изделия одного наименования, типоразмера и исполнения, независимо от типа производства.

Типовой технологический процесс (ТТП) — это ТП изготовления группы изделий с общими конструктивными и технологическими признаками. Примером такого ТП может служить процесс изготовления ленточных витых магнитопроводов.

Типовой технологический процесс применяется как информационная основа при разработке рабочего технологического процесса или как самостоятельный рабочий ТП (при наличии всей необходимой для изготовления данного изделия информации).

Групповой технологический процесс (ГТП) — это ТП изготовления группы изделий с разными конструктивными, но общими технологическими признаками.

Примером такого ТП может служить ГТП изготовления кнопок клавиатуры ЭВМ, имеющих незначительные конструктивные отличия.

Групповые технологические процессы делят на два подвида: дифференциально-групповые и интегрально-групповые.

Дифференциально-групповой ТП разрабатывается для изготовления различных деталей, объединенных на время обработки по общему технологическому признаку (методам изготовления, общим режимам, общей технологической оснастке). Дифференциально-групповой принцип построения ТП характерен для деталей конструктивной базы РЭС. Он позволяет уменьшить трудоемкость и себестоимость изготовления деталей путем создания и эксплуатации специализированных рабочих мест и сокращения времени на переналадку при переходе к изготовлению партии деталей другого типоразмера или наименования одной и той же группы. Специализированные рабочие

места применяют для последовательной обработки деталей партиями. В состав каждой партии входят детали только одного типоразмера и наименования из группы.

Для изготовления функциональных элементов схмотехнической базы РЭС используют интегрально-групповые ТП. При реализации этого вида ТП берут общую заготовку для большого числа одинаковых элементов (изделий). Все элементы проходят операции одновременной обработки в неразделенном состоянии вплоть до помещения в корпус. При интегрально-групповом ТП каждое изделие образуется не как результат сборки отдельных деталей, а как интегральный результат обработки отдельных участков поверхности или объема исходной заготовки для придания им свойств в соответствии с электрической схемой.

По степени детализации ТП подразделяют на *маршрутные, операционные* и *маршрутно-операционные*.

Маршрутная технология — оформление технологических операций так, что в технологической (маршрутной) карте указывается лишь последовательность обработки деталей (маршрут). Применяется в единичном и мелкосерийном производстве.

Операционные ТП разрабатываются на операционных картах с подробной разработкой каждой операции. Указываются режимы обработки, припуски, нормы времени, технологическое оснащение и т.д. Применяются в условиях крупносерийного и массового производства.

Маршрутно-операционная технология предполагает разработку части операций подробно на операционных картах, а части упрощенно на маршрутных картах. Используются в условиях серийного производства.

По используемому методу обработки материалов различают ТП механической обработки, литья, электрофизикохимической обработки и т.д.

По признаку основного назначения каждый вид ТП может быть охарактеризован как *рабочий* или *перспективный*.

Рабочий ТП применяется для изготовления конкретного изделия в соответствии с требованиями рабочей технической документации.

Перспективный ТП используется как информационная основа для разработки рабочих ТП при техническом и организационном перевооружении производства.

В самом общем случае под проектированием ТП понимают разработку комплекта ТД, обеспечивающего в условиях конкретного производства выпуск заданного количества изделий с соблюдением *технологического* и *экономического* принципов.

Технологический принцип предполагает надежное обеспечение требований технической документации на изделие за счет рационального построения технологического процесса.

Экономический принцип заключается в обеспечении минимальной себестоимости изделия.

Разработка любого ТП предполагает проведение следующего комплекса взаимосвязанных работ:

1. Выбор оптимального варианта получения заготовки и разработки маршрутной технологии.
2. Подбор возможных аналогов технологических процессов.
3. Определение вновь разрабатываемых технологических операций с установлением технологических баз.
4. Определение необходимого технологического оборудования, оснастки, средств автоматизации и механизации.
5. Назначение и расчет режимов обработки, техническое нормирование ТП и определение необходимой квалификации рабочих.
6. Расчет и проектирование производственных участков, составление планировок и разработка операций перемещения изделий и отходов производства.
7. Оформление технологической документации.

## **8.2. Исходная информация для разработки технологического процесса**

Всю исходную информацию для разработки ТП подразделяют на *базовую, руководящую и справочную* (Р50-54-93-88 бывший ГОСТ 14.301-83).

Базовая информация включает данные, содержащиеся в конструкторской документации на изделие и программу выпуска этого изделия. Конструкторская документация на деталь — это, как правило, рабочий чертеж детали и технические условия. Рабочий чертеж должен содержать все необходимые размеры детали с указанием точности обработки и шероховатости поверхностей, сведения о материале, из которого должна быть изготовлена деталь, термообработке, покрытию и т.д. Технические условия на деталь могут быть общими, например, по ОСТ 4Г0.070.014. Такие ТУ приводятся прямо на чертеже. Но могут быть и отдельные ТУ на деталь как на самостоятельное изделие. Например, ТУ на деталь, которая поставляется по кооперации.

Руководящая информация включает данные, содержащиеся в:

- отраслевых стандартах, устанавливающих требования к технологическим процессам и методам управления ими;
- стандартах на оборудование и оснастку;
- документации на действующие единичные, типовые и групповые технологические процессы;
- материалах по выбору технологических нормативов (режимов обработки, припусков, норм расхода материалов и т.д.);
- классификаторах технико-экономической информации;
- документации по ТБ и промышленной санитарии.

Справочная информация содержится в:

- технологической документации опытного производства;
- описании прогрессивных методов производства и ремонта;
- каталогах, справочниках, альбомах компоновок средств технологического оснащения;
- планировках производственных участков;
- методических материалах по управлению техпроцессами.

### 8.3. Основные этапы проектирования технологических процессов

#### 1 этап *Анализ исходных данных для разработки ТП*

Разработка любого технологического процесса начинается с анализа конструкции будущего изделия. В нашем случае это деталь.

По рабочему чертежу детали и чертежам сборочных единиц выясняют положение детали в изделии. Получают полное представление о форме детали, размерах и их точности, шероховатости поверхностей, физических и технологических свойствах материала, функциях детали в изделии и о специальных технических требованиях. Тут же выясняют, какие поверхности являются рабочими и какие элементы конструкции (поверхности, линии, точки) являются конструкторскими базами.

Важно при этом оценить технологичность конструкции детали и степень соответствия конструкции требованиям заданного объема производства. Анализ технологических данных включает проверки на:

- целесообразность формы детали, степень ее пригодности для получения заготовки высокопроизводительными методами (литьем, штамповкой и т. д.);
- правильность выбора марки материала с учетом условий производства и назначения детали;
- соответствие номинальных размеров ГОСТ 8032-94;
- целесообразность допусков на размеры с точки зрения служебного назначения детали и условий производства;
- правильность основных размеров и увязку размерных цепей;
- правильность выбранных защитных покрытий;
- отсутствие ошибок в технических требованиях чертежа.

#### 2 этап *Выбор действующего типового, группового технологического процесса или поиск аналога единичного ТП*

Разработка любого ТП начинается не на голое место. В большинстве случаев имеется ТП, похожий на разрабатываемый ТП. Удачным считается решение, при котором технолог не плодит новые ТП, а вводит свою деталь в действующий нормализованный групповой, типовой или единичный ТП. Это значительно сокращает сроки и затраты на подготовку производства.

С имеющимся в распоряжении технолога огромным количеством перечней и ограничителей ТП работать трудно. Поэтому в САПР ТП используется автоматизированный поиск нужного ТП, ГТП или ЕТП. Для этого обрабатываемое изделие необходимо отнести к соответствующей классификационной группе на основе технологического кода. Существует специальный технологический классификатор, который позволяет охарактеризовать деталь по многим признакам и выразить ее характеристику в виде кода. С помощью этого кода можно подобрать ТП с применением машинных методов поиска.

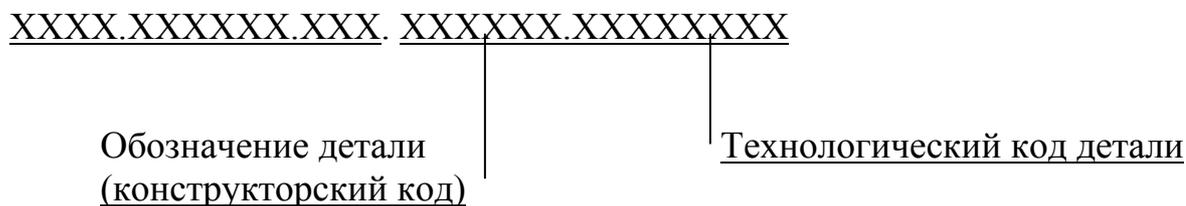
В технологическом классификаторе устанавливается 14-тизначная структура технологического кода детали составленная из 2-х частей:

- кода классификационных группировок основных признаков (постоянная часть кода);

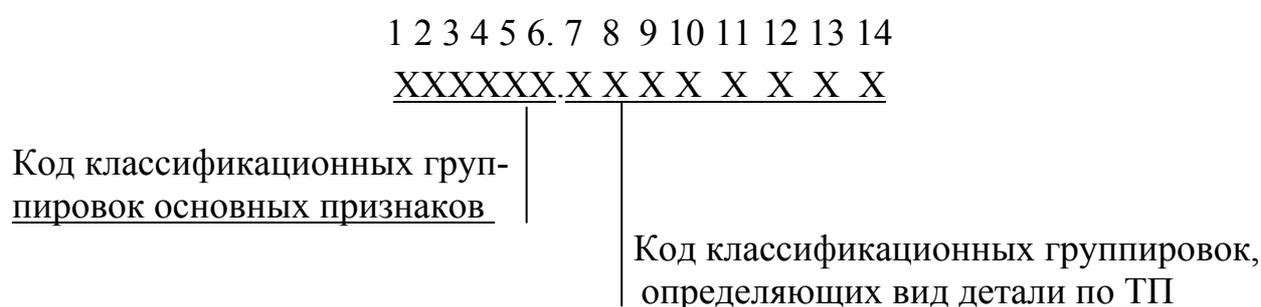
— кода классификационных группировок признаков, определяющих вид детали (переменная часть кода).

Для обозначения детали в чертежах используется код классификационных группировок конструктивных признаков, установленных ЕСКД.

Т.о., структура полного конструкторско-технологического кода детали:



Структура технологического кода имеет вид:



Каждая деталь может иметь несколько видов классификационных группировок признаков, определяющих вид детали по методу обработки при постоянном коде классификационных группировок основных признаков.

Например, структура кода основных технологических признаков имеет вид:

**3 4 3 0 1 3**

Размерная характеристика: 3 – длина 20; 4 – ширина 120; 3 – толщина листа 1,6 мм

Вид детали по методу обработки: 3 – холодная штамповка  
Группа материала; 01 – сталь 10

Код классификационных группировок, определяющих вид детали:

**.0      5      5      2      41      4      4**

Вид заготовки (лист)

Квалитет размеров наружной поверхности (14)

То же внутренней поверхности

Шероховатость наружной поверхности R<sub>z</sub>20

Характеристика технологических требований:

общее количество отверстий (>10 )

вид дополнительной обработки (покрытие)

весовая характеристика (масса - 0.04 кг)

Пример кодировки кронштейна холодно штампованного:

По такой кодировке можно подобрать аналогичный ТТП, ГТП или ЕТП. Чаще всего в аналогичном ТП требуется замена 2-х, 3-х операций для того, чтобы изготовить новую деталь.

При отсутствии аналогичного разрабатывается новый ЕТП.

Для решения задач второго этапа необходима следующая документация: КД на изделие, технологический классификатор изделий, документация ТТП, ГТП и ЕТП для данной группы изделий.

После составления технологического маршрута заполняется маршрутная карта.

### 3 этап *Выбор исходной заготовки и методов ее получения*

На этом этапе решаются следующие основные задачи:

— определение вида исходной заготовки (или уточнение заготовки указанной ТТП);

— выбор метода изготовления заготовки;

— технико-экономическое обоснование выбора заготовки.

На выбор метода получения заготовки оказывают влияние: материал детали, ее назначение и технические требования на изготовление, объем и серийность выпуска, форма поверхностей и размеры детали.

Оптимальный метод получения заготовки определяется на основе всестороннего анализа названных факторов и технико-экономического расчета технологической себестоимости детали.

Оптимальным считается метод получения заготовки, обеспечивающий минимальную себестоимость детали.

Высокопроизводительными способами получения заготовок, максимально приближенных по форме к готовой детали являются: штамповка, литье и прессование. Однако они требуют изготовления дорогостоящей оснастки (штампов, прессформ, литейных форм и т.д.) и рентабельны только в условиях серийного и массового производства. В единичном и мелкосерийном производстве используют различного рода полуфабрикаты, прутки, трубы, проволока, листы, плиты и т.д. Для изготовления деталей, обрабатываемых по всей поверхности, нужно использовать более дешевый прокат (10-12 кв. точности). При использовании листового материала важное значение имеет оптимальный раскрой. Необходимо по возможности использовать и отходы. Например, отходы пробивки круглых отверстий часто используют как заготовки для изготовления различных шайб. Важным показателем правильности выбора заготовки является коэффициент использования заготовки

$$K_3 = \frac{M_d}{M_3} \quad (K_3 \geq 0,7),$$

где  $M_d$  — масса детали;  $M_3$  — масса заготовки.

Основными документами, необходимыми для принятия решения о выборе заготовки являются:

— документация на ТТП, ГТП. и ЕТП;

— классификатор заготовок;

- методика расчета и технико-экономической оценки выбора заготовок;
- ГОСТы, ОСТы, СТП и ТУ на заготовки и основной материал.

### 3 этап Выбор технологических баз и схемы базирования

В самом начале разработки ТП очень важно правильно выбрать элементы детали, которые обеспечивают ее наивыгоднейшее положение на станке при обработке. Поверхности, которыми деталь фиксируется относительно инструмента при установке на станке или в приспособлении называются технологическими базами.

Технологическими базами могут быть плоские, круглые и профильные поверхности, если по отношению к ним следует выдерживать размер, ограниченный допуском. Закрепляя заготовку в станине или приспособлении, мы лишаем ее всех или некоторых степеней свободы. Например: опоры 1,2,3 в плоскости  $XOY$  (рис.6), лишают заготовку 3-х степеней свободы: 1 — возможности перемещения по оси  $OZ$  и вращения вокруг осей  $OX$  и  $OY$ ; опоры 4,5 на плоскости  $ZOX$  лишают заготовку 2-х степеней свободы — возможности перемещения вдоль оси  $OY$  и вращения вокруг оси  $OZ$ ; опора 6 на плоскости  $YOZ$  лишает заготовку возможности перемещаться вдоль оси  $OX$ .

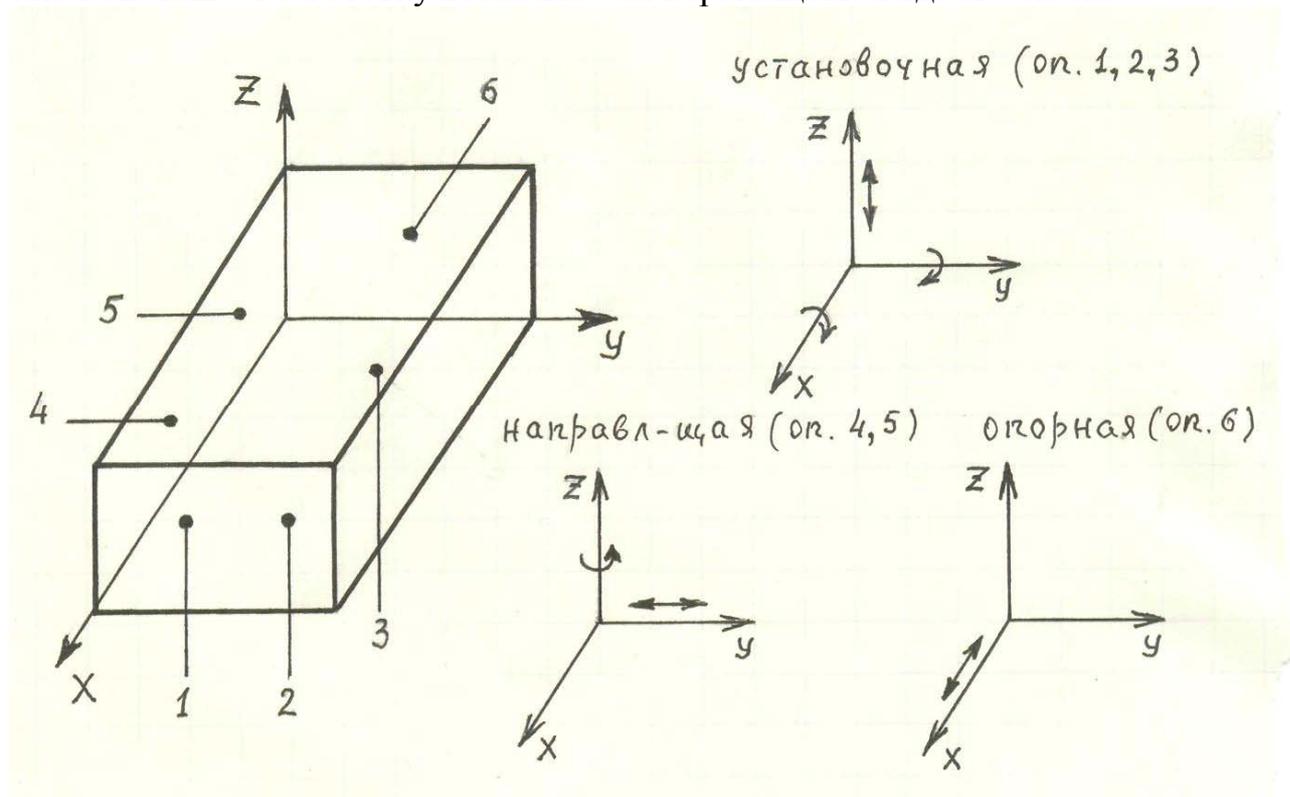


Рис.6. Схема базирования детали с наложением полного комплекта баз

Технологические базы, лишаящие заготовку трех степеней свободы, называются **установочными**.

Базы, лишаящие деталь двух степеней свободы, называются **направляющими**.

Базы, лишаящие заготовку одной степени свободы, называются **опорными**.

Придание заготовке или изделию требуемого положения относительно выбранной системы координат называется **базированием**.

Точку, символизирующую одну из связей заготовки в выбранной системе координат, называют опорной и обозначают  $V, \diamond$ .

Схему расположения опорных точек на базах заготовки называют схемой базирования.

Для обеспечения неподвижности заготовки или детали в выбранной системе координат на нее необходимо наложить шесть двухсторонних геометрических связей. Для этого нужен комплект из трех баз.

На практике часто нет необходимости лишать заготовку всех степеней свободы. Например, при сверлении центрального отверстия в цилиндрической детали (см. рис.2), достаточно лишить ее четырех степеней свободы.

Для обозначения схем базирования существуют специальные графические обозначения ГОСТ 3.1107-81.

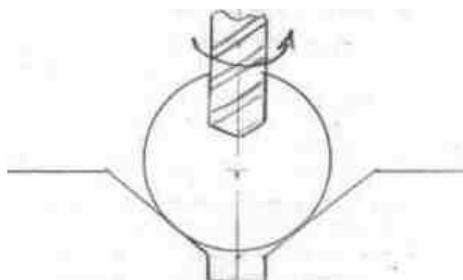


Рис.7. Базирование по двойной направляющей базе

Приступая к разработке схемы базирования детали или заготовки, прежде всего надо решить вопрос о том, каких степеней свободы она должна лишиться, и какие ее перемещения и повороты не отразятся на размерах. При лишней установочных поверхностях создается неустойчивое положение обрабатываемой детали, так как нельзя быть уверенным, что поверхность детали соприкасается со всеми опорами. Кроме того, чем меньше степеней свободы оставлено при базировании, тем сложнее приспособление.

Технологические базы подразделяются на черновые и чистовые. За черновые базы берут необработанные поверхности заготовки.

За чистовые базы принимают обработанные поверхности заготовки.

Кроме технологических различают еще базы конструкторские и измерительные.

Под конструкторскими базами подразумеваются поверхности, линии, точки, которые связаны с расчетами конструктора, т.е. определяют взаимное расположение деталей в узле или механизме.

Под измерительными базами подразумеваются поверхности, от которых ведется отсчет размеров.

При базировании заготовок и деталей необходимо стремиться к единству баз, т.е. чтобы все три вида баз совпадали. Например, отверстие зубчатого колеса является основной конструкторской базой, т.к. при посадке его на вал поверхность отверстия определяет положение зубчатого колеса в детали относительно других сопряженных поверхностей. Она же является

технологической базой почти на всех операциях механической обработки. При несовпадении технологических и конструкторских баз возникает дополнительная погрешность в размерах детали, которая называется погрешностью базирования. В связи с этим второй основной задачей данного этапа проектирования ТП является расчет погрешностей базирования. Расчет погрешностей базирования производится для каждого конкретного случая.

Существуют и другие рекомендации по выбору баз. Так в качестве черновых баз необходимо выбирать поверхности:

- обеспечивающие устойчивое положение детали в приспособлении;
- обработанные или обрабатываемые с минимальным припуском;
- наиболее чистые и точные.

Черновые базы используются один раз, т.к. после первой технологической операции появляются более чистые и точные поверхности. Чистовые базы назначают руководствуясь следующими правилами:

- выбранная поверхность должна использоваться на всех операциях кроме первой;
- при отделочных операциях установка заготовки должна производиться в то же положение, что и при ее работе в изделии;
- базой должна быть поверхность, от которой размер задается с наименьшим допуском.

Основные документы, необходимые для выбора технологических баз:

- классификатор способов базирования;
- методика выбора технологических баз.

#### *Этап 5. Составление технологического маршрута обработки*

Технологический маршрут — это последовательность технологических операций обработки деталей.

На этом этапе решаются две основные задачи:

1. Составление общего плана обработки детали или уточнение последовательности операций по ТТП и ГТП.
2. Определение состава и средств технологического оснащения. Результаты работы лучше оформлять в виде таблицы.

При установлении общей последовательности обработки детали рекомендуется учитывать следующие положения:

- каждая последующая операция должна уменьшать погрешность обработки и улучшать качество поверхности;
- в первую очередь следует обрабатывать поверхности, которые будут служить технологическими базами для последующих операций;
- далее необходимо обрабатывать поверхности, с которых снимается наибольший слой материала. Это позволяет своевременно обнаруживать возможные внутренние дефекты заготовки;
- операции, при которых возможно появление брака из-за внутренних дефектов в заготовке, нужно производить на ранних стадиях ее обработки;

— обработка остальных поверхностей ведется в последовательности, обратной степени их точности, — чем точнее должна быть поверхность, тем позже она обрабатывается;

— заканчивается процесс изготовления детали обработкой той поверхности, которая должна быть наиболее точной и имеет наибольшее значение для эксплуатации детали. Если она была обработана ранее, до выполнения других смежных операций, может возникнуть необходимость в ее повторной обработке;

— отверстия нужно сверлить в конце технологического процесса, за исключением тех случаев, когда они служат базами;

— если деталь подвергается термической обработке по ходу технологического процесса, механическая обработка расчленяется на две части: до термической обработки и после нее;

— технический контроль назначают после тех этапов обработки, где вероятно повышенная доля брака, перед сложными и дорогостоящими операциями, после законченного цикла, а также в конце обработки.

Для оценки разработанного ТП в соответствии с ЕСТПП рекомендуется вычислять коэффициенты применения прогрессивных высокоэффективных методов обработки —  $K_{BM}$  и типовых ТП —  $K_{ТПП}$ . ТП рационален, если они равны или превышают установленные ЕСТПП уровни, то есть

$$K_{BM} = \frac{Q_{BM}}{Q_M} \geq 0,45, \text{ а } K_{ТПП} = \frac{Q_{ТПП}}{Q_{ТП}} \geq 0,8,$$

где  $Q_{BM}$  — количество эффективных методов, а  $Q_M$  — общее количество методов, применяемых при обработке;  $Q_{ТПП}$  — количество типовых, а  $Q_{ТП}$  — общее количество применяемых в ТП технологических операций.

Документация: основная документация, ТТП, ГТП, аналог ЕТП.

### Этап 6. Разработка технологических операций

На этом этапе решаются следующие задачи:

— разрабатывается (или уточняется) последовательность переходов в операции;

— выбираются (или уточняются) средства технологического оснащения операций (СТО);

— назначаются или рассчитываются припуски и режимы обработки;

— выбираются и назначаются средства контроля изделия;

— выбираются средства транспортирования изделия.

Основная документация: стандарты по выбору СТО; руководящие материалы РД50-197-80 и РД50-198-80; каталоги, альбомы по выбору СТО; материалы по выбору технологических режимов, припусков и т.д.

Слой материала, который должен быть удален с заготовки в процессе обработки для получения детали, называется *общим припуском*. Он складывается из промежуточных припусков — слоев, снимаемых за операцию или переход.

Припуск всегда измеряется по нормали к обрабатываемой поверхности и задается в мм на сторону или диаметр.

Назначение рациональных общих и операционных припусков имеет важное значение. Увеличенный припуск приводит к увеличению времени обработки и толщины снимаемой стружки, что вызывает соответствующее увеличение усилий обработки, деформации детали и уменьшению точности ее изготовления, растет износ инструмента, СТО и оборудования, расход электроэнергии и др. Заниженный припуск не позволяет удалять дефектный слой материала, получить требуемую точность и шероховатость обрабатываемых поверхностей.

При определении припуска необходимо учитывать конфигурацию и размеры заготовки, методы обработки, характеристики оборудования и его техническое состояние. Допускаемые отклонения величины припуска на обработку партии деталей определяется допуском на припуск или разностью между максимальным и минимальным припусками. Слишком малые допуски на припуск усложняют обработку, слишком большие – увеличивают припуск на последние операции. Допуск на общий припуск является допуском на заготовку.

**Опытно-статистический метод определения припусков** основан на использовании справочных данных. При этом не учитываются условия выполнения операции и обычно он дает их завышенные значения. Достоинство метода – простота, поэтому он рекомендуется для единичного и мелкосерийного производства. Порядок назначения припусков по этому методу следующий:

- по справочникам находят припуски и допуски на каждую операцию;
- определяют межоперационные размеры и размеры заготовок. При этом учитывается метод получения заготовки и технологический маршрут;
- заполняется таблица соответствующей формы и, при необходимости, изображается графически поле припусков и допусков.

Расчет промежуточных размеров следует вести, начиная с последнего перехода, т. е. исходя из размера детали.

Связь между исходными размерами заготовки ( $D_{\text{заг}}$ ), операционными размерами ( $D_i$ ), припусками ( $Z_i$ ), допусками ( $\delta_i$ ) и размерами детали ( $D_{\text{дет}}$ ) показана для случая 3-переходной обработки наружной и внутренней поверхностей на схемах расположения операционных припусков и допусков (рис.8).

Припуски при массовом и крупносерийном производствах рассчитывают расчетно-аналитическим методом. Необходимая величина припуска на данном переходе или операции должна обеспечивать удаление погрешностей предыдущей, т. е.  $Z_{\text{min}}$  должно быть равно или больше геометрической суммы шероховатости  $R_z^{i-1}$ , толщины деформированного слоя  $T_{i-1}$ , пространственных отклонений формы  $\rho_{i-1}$  и погрешностей установки  $\varepsilon_y^{i-1}$ .

К пространственным отклонениям формы относятся: не параллельность поверхностей, несоосность отверстий, изогнутость, увод оси и др. Погрешность установки является геометрической суммой  $\varepsilon_6, \varepsilon_{np}, \varepsilon_3$ .

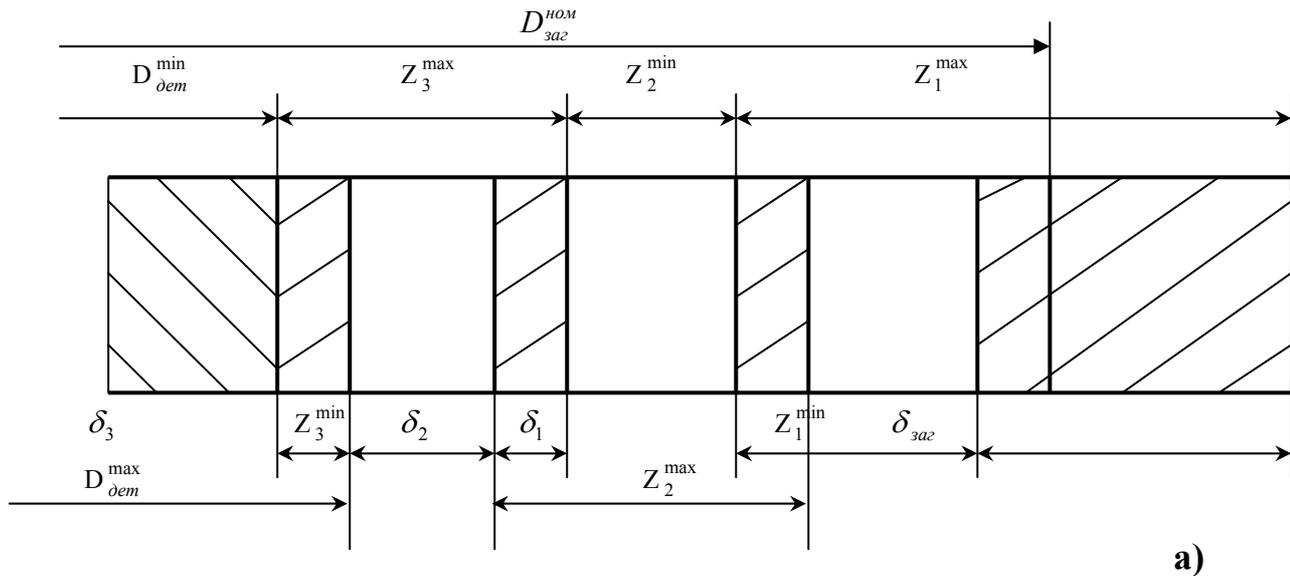
Следовательно, минимальный припуск:  $Z_{\min} = R_{z_{i-1}} + T_{i-1} + \overline{\rho}_{i-1} + \varepsilon_{y_{i-1}}$ .

В частности для обработки внутренних и наружных поверхностей вращения и фасонных поверхностей:

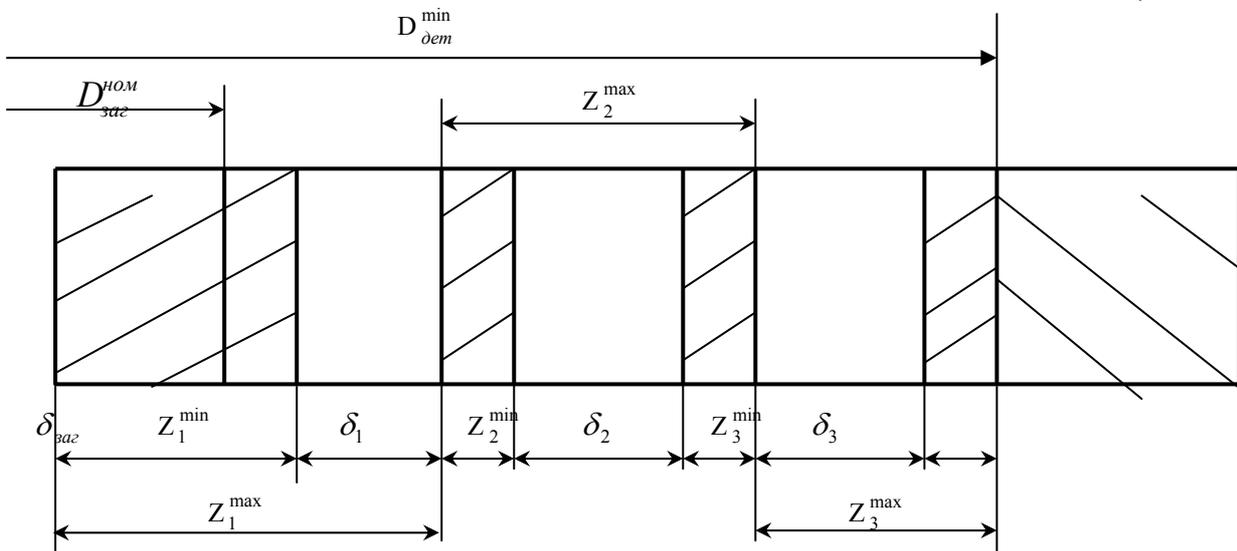
$$2Z_{\min i} = 2(R_{z_{i-1}} + T_{i-1} + \sqrt{\rho_{i-1}^2 + \varepsilon_{i-1}^2});$$

при последовательной обработке противоположных поверхностей (односторонний припуск):

$$Z_{\min i} = R_{z_{i-1}} + T_{i-1} + \rho_{i-1} + \varepsilon_{y_{i-1}}.$$



а)



б)

Рис.8. Схемы расположения операционных припусков  $Z_i$  и допусков  $\delta_i$  для случаев обработки наружных (а) и внутренних (б) поверхностей

Величины составляющих  $R_z$ ,  $T$ ,  $\rho$  уменьшаются после каждой операции механической обработки и определяются по справочникам с учетом следующих соображений:

- при ТО качество поверхности улучшается, поэтому  $T_{i-1} = 0$ , как и при обработке литых чугуновых заготовок, начиная со второго перехода;
- суммарное значение пространственных отклонений формы рассчитывается следующим образом:  $\rho_1 = 0,06\rho_0$ ;  $\rho_2 = 0,05\rho_1$  и  $\rho_3 = 0,04\rho_2$ ;
- при установке в центрах  $\varepsilon_y = 0$ ; при работе с одной установки на многопозиционных станках  $\varepsilon_y$  второй позиции:  $\varepsilon_{y2} = 0,06 \varepsilon_{y1} + 50$  мкм, для третьей и последующих позиций  $\varepsilon_y = 50$  мкм;
- при обработке наружных поверхностей минимальный операционный припуск (см. схему припусков и допусков):  $Z_{i-1}^{\min} = D_i^{\min} - D_{i-1}^{\max}$ ;
- внутренних поверхностей:  $Z_{i-1}^{\min} = D_{i-1}^{\min} - D_i^{\max}$ ;
- максимальный припуск (для обоих случаев):  $Z_{i-1}^{\max} = Z_{i-1}^{\min} + \delta_i + \delta_{i-1}$ ;

На чертеже детали указывается размер, относящийся лишь к последнему переходу, поэтому надо устанавливать промежуточные размеры для всех предшествующих переходов:

- для наружных размеров:  $D_i^{\min} = D_{i-1}^{\max} - Z_i^{\min}$ ;  $D_i^{\max} = D_i^{\min} + \delta_i$ ;
- для внутренних:  $D_i^{\max} = D_{i-1}^{\min} - Z_i^{\min}$ ;  $D_i^{\min} = D_i^{\max} - \delta_i$ ;

Эти расчеты ведутся с последнего перехода (т. е. от размера детали) к первому – черновому переходу.

Порядок расчета припусков и предельных размеров по переходам следующий:

1. По таблицам определяются значения  $R_z$ ,  $T$ ,  $\rho$ ,  $\varepsilon$  и допуски  $\delta_i$ .
2. Рассчитывается  $Z^{\min}$  по всем технологическим переходам.
3. Определяются минимальные и максимальные промежуточные размеры.
4. Определяются минимальные и максимальные промежуточные предельные припуски  $Z^{\max}$ .
5. Определяются минимальные и максимальные общие припуски:

$$Z_0^{\min} = \sum Z_i^{\min}; \quad Z_0^{\max} = \sum Z_i^{\max}.$$

6. Проверяется правильность произведенных расчетов по формулам:

$$Z_i^{\max} - Z_i^{\min} = \delta_{i-1} - \delta_i; \quad Z_0^{\max} - Z_0^{\min} = \delta_{зак} - \delta_{дем}.$$

Все данные рекомендуется заносить в таблицу следующей формы:

Переходы обработки поверх-тей	$R_z$ , мкм	$T$ , мкм	$\rho$ , мкм	$\delta_y$ , мкм	$Z_i$ , мкм	$D_i$ , мм	$\delta_i$ , мм	$D_i$ , мм		$Z_i$ , мкм	
								max	min	max	min

### Этап.7. Выбор технологического оборудования

Правила выбора технологического оборудования даются ГОСТами ЕСТПП и учитывают: тип производства и его организационную структуру;

вид изделия и программу его выпуска; характер технологии; возможности группирования технологических операций; максимального применения стандартного оборудования и СТО; равномерной загрузки оборудования. Основой выбора оборудования должен быть анализ затрат на реализацию ТП в установленное время при заданном качестве изделий.

Технологическое оборудование подразделяют на 4 группы:

1. Универсальные станки с широким диапазоном параметров, размеров. Целесообразны в единичном и мелкосерийном производстве. Их возможности расширяются за счет приспособлений, приставок и дополнительных механизмов.

2. Станки высокой производительности (полуавтоматы и автоматы) с ограничением по параметрам, виду и размеру заготовок. Серийное и массовое производство.

3. Специализированные и агрегатные станки, приспособленные для обработки одной или группы деталей. Применяют в крупносерийном и массовом производстве и в серийном производстве для групповой обработки деталей.

4. Специальные станки — спроектированные и изготовленные для обработки заготовки в определенной технологической операции. Имеют большую производительность, так как режимы обработки на них соответствуют расчетным. Производятся в единичном исполнении. Рентабельны в массовом производстве при длительном выпуске деталей.

Тип станка выбирают по возможности обеспечить точность изготовления и качество поверхности детали. Если имеется выбор, то учитывают: соответствие габаритов станка и заготовки; тип производства (производительность станка); рациональность использования по режимам и мощности и др.

Целесообразность выбранного оборудования определяется после расчетов режимов обработки и норм времени путем расчетов коэффициентов использования оборудования по времени  $\eta_0$ , мощности  $\eta_m$  и технологической себестоимости операции  $C_{m.on}$ :

$$\eta_0 = T_0 / T_{ш} \text{ или } \eta_0 = T_0 / T_{ш.к} ,$$

где  $T_0$ ,  $T_{ш}$  и  $T_{ш.к}$  — основное (машинное), штучное и штучно-калькуляционное время, [мин]. Чем ближе  $\eta_0$  к 1, тем лучше (меньше вспомогательное время и  $\tau$  обслуживания)

$$\eta_m = N_{об} / N_n ,$$

где  $N_{об}$  — мощность обработки, [кВт];  $N_n$  — полезная мощность ( $N_n = N_{дв} \cdot \eta$  — мощность двигателя,  $\eta = 0,7 - 0,9$  — к.п.д.),

$$C_{m.on} = Z_{раб} + A_{см} + L_{см} + У + E + Д + A_{нр} ,$$

где  $Z_{раб}$  — заработная плата рабочего;  $A_{см}$  — амортизация;  $L_{см}$  — затраты на ремонт и наладку станка к данной технологической операции;  $A_{нр}$  — аморти-

зация и обслуживание СТО для данной технологической операции;  $У$  — расходы на инструмент;  $Е$  — затраты на электроэнергию;  $Д$  — доплаты и начисления на  $З_{\text{раб}}$ .

В соответствии с ЕСТПП, дополнительными критериями рациональности выбора оборудования в серийном и массовом производстве является коэффициент применения автоматов и полуавтоматов:

$$K_{a.ob} = \frac{Q_{a.ob}}{Q_{ob}} \quad (K_{a.ob} \geq 0,6)$$

и коэффициент применения агрегатного оборудования:

$$K_{ag.ob} = \frac{Q_{ag.ob}}{Q_{ob}} \quad (K_{ag.ob} \geq 0,38),$$

где  $Q_{a.ob}$ ,  $Q_{ag.ob}$ ,  $Q_{ob}$  — количество автоматов и полуавтоматов, агрегатных станков и всего оборудования, применяемого в ТП, соответственно.

В единичном и мелкосерийном производстве это коэффициент применения станков с ЧПУ:

$$K_{чпу} = \frac{Q_{чпу}}{Q_{ob}} \quad (K_{чпу} \geq 0,28).$$

#### Этап 8. Выбор технологической оснастки

СТО — это приспособления, вспомогательный режущий и мерительный инструмент, средства механизации и автоматизации. Правила выбора СТО регламентируются ЕСТПП с учетом конкретных производственных условий. Например, в серийном производстве с меняющейся номенклатурой стремятся к максимально возможному использованию одной СТО за счет ее унификации, типизации ТП и групповой обработки. Эффективным способом интенсификации производства является создание переналаживаемой СТО.

СТО позволяет:

- правильно расположить заготовку на станке;
- не делать разметки под обработку;
- устранить влияние ошибок рабочего при установке;
- одновременно обрабатывать несколько заготовок;
- повысить производительность обработки за счет уменьшения вспомогательного времени (нет выверки, ускоряется подвод и отвод инструмента, установка и снятие детали и т.п.);
- использовать наличное оборудование при переходе на новые виды изделий;
- сократить сроки их освоения;
- расширить технологические возможности станков и др.

По целевому назначению приспособления делят на группы:

1. Станочные для установки и закрепления заготовок (сверлильные, фрезерные, токарные, спецназначения (гибка и т.д.) и т.д.).

2. Станочные для установки и закрепления инструмента (патроны, многошпиндельные головки, инструментальные державки и т.д.).

3. Сборочные (для соединения деталей в изделие).

4. Контрольные (проверка заготовок, контроль деталей, при сборке).

5. Для захвата, перемещения и позиционирования заготовок и деталей.

По степени специализации приспособления бывают универсальные, переналаживаемые и специальные.

1. Универсальные (применяются в единичном и мелкосерийном производстве) — стандартные (тиски, патроны, головки и т.п.) изготавливаются централизованно для деталей широкой номенклатуры и различных размеров; специальные — для определенных деталей.

7. Переналаживаемые (в мелко- и среднесерийном производстве): универсально-сборные и сборно-разборные, собираемые из набора нормализованных деталей и допускающие многократную перекомпоновку; универсально-наладочные (со сменными наладками); групповые переналаживаемые.

8. Специальные для определенных технологических операций, то есть переналаживаемые одноцелевого назначения (в массовом производстве). Они высокопроизводительны, так как в них применяются быстродействующие установочные и зажимные устройства, а также многоместная и многоинструментная обработка. Трудоемкие и дорогие, изготавливаются методами единичного производства.

### Этап 9. Нормирование технологического процесса

Состоит в определении технической нормы времени для каждой технологической операции. При массовом производстве техническая норма времени — это штучное время  $T_{ш}$ , а при серийном — штучно-калькуляционное время  $T_{ш-к}$ :

$$T_{ш} = T_o + T_г + T_{тех} + T_{орг} + T_{пер}; T_{ш-к} = T_{ш} + \frac{T_{п.з}}{N},$$

где  $T_o$  — основное (технологическое) время (затрачивается непосредственно на изменение характеристик детали, может быть машинным, машинно-ручным, ручным);  $T_г$  — вспомогательное  $\tau$  (затрачивается на действия, обеспечивающие выполнение основной работы, оно повторяется на каждом изделии — установка и снятие деталей, инструмента, измерения и т.п.);  $T_{тех}$  —  $\tau$  технического обслуживания рабочего места;  $T_{орг}$  —  $\tau$  организационного обслуживания рабочего места (подналадка оборудования, смена инструмента и т.п.);  $T_{пер}$  — необходимые перерывы;  $T_{п.з}$  — подготовительно-заключительное  $\tau$  (ознакомление с чертежами и работой, наладка оборудования, СТО и инструмента, заключительные действия после работы; затрачивается один раз на ТО и не зависит от количества  $N$  деталей в партии);  $T_{тех} + T_{орг} = T_{обсл}$  —  $\tau$  обслуживания рабочего места; а  $T_o + T_г = T_{оп}$  — оперативное время.

Нормирование ТП производится после определения содержания технологических операций, выбора оборудования, инструмента, СТО; расчета режимов обработки в следующей последовательности:

1. Из режимов по каждому переходу технологической операции вычисляется основное технологическое время  $T_o$  (машинное время).

2. По содержанию каждого технологического перехода, с учетом размеров и массы детали, способа ее установки и закрепления по нормативам определяется вспомогательное время  $T_e$  (учитываются совмещения и перекрытия  $\tau$ ).

3. По нормативам вычисляется  $\tau$  обслуживания рабочего места  $T_{обс}$  (обе его части задаются в % от операционного времени станка  $T_{он}$ ).

4. По нормативам (в % от  $T_{он}$ ) определяется и  $T_{пер}$ .

Технические нормы времени устанавливаются для каждой технологической операции и типа производства (так как на выполнение одинаковой работы требуется различное время). Сумма штучных  $\tau$  по всем технологическим операциям составляет ТП.

Различные варианты ТП, в общем обеспечивающие требованиям чертежа и ТУ, имеют различную себестоимость из-за многообразия методов обработки, оборудования, оснастки и т.д. Из технически равноценных вариантов выбирается один с минимумом суммарных затрат на единицу продукции. (Учитываются только те затраты, которые изменяются для разных вариантов ТП.)

Переменная доля затрат на ТП:

$$C = C_m + \sum_{i=1}^n C_{oi},$$

где  $C_m$  — стоимость заготовки;  $C_{oi}$  — стоимость выполнения  $i$ -й технологической операции;  $n$  — количество операций в составе ТП. Стоимость заготовки:

$$C_m = C_{m.б} \cdot M_3 \cdot k_m \cdot k_c \cdot k_s \cdot k_m \cdot k_n - (M_3 - M_d) \cdot C_{отх},$$

где  $C_{m.б}$  — базовая стоимость единицы массы заготовок в зависимости от метода их получения и группы материалов;  $k_m$ ;  $k_c$ ;  $k_s$ ;  $k_m$ ;  $k_n$  — коэффициенты, учитывающие точность размеров, группу сложности формы, массу, марку металла и объем производства заготовок соответственно;  $M_3$  и  $M_d$  — массы заготовки и детали;  $C_{отх}$  — стоимость реализуемых отходов.

# Литейные процессы

## Методы формообразования и упрочняюще-чистовой обработки

### Классификация методов

Обработка может быть размерной (формообразование) упрочняюще-чистовой. Все применяемые для этого методы условно делятся на *механические, электрофизические и комбинированные*.

К механической обработке относятся: литье, обработка резанием, давлением, изготовление деталей из спеченных материалов (керамическая технология) и изготовление деталей из пластмасс.

К электрофизическим и электрохимическим методам относятся:

- основанные на электрохимическом воздействии (электрохимическая отделка поверхности и электрохимическая размерная обработка);
- основанные на тепловом воздействии (электроэрозионная, плазменная и электронно-лучевая обработка);
- основанные на импульсном механическом воздействии (ультразвуковая, электрогидравлическая, магнитно-импульсная и др. обработки).

В комбинированных методах процесс обработки является результатом одновременного протекания двух или более воздействий. Могут быть сочетания воздействий: электрохимического и механического; электро-эрозионного и электрохимического, ультразвукового и механического и др. Производительность комбинированных методов значительно выше суммы каждого метода по отдельности. Так, электроабразивное и электроалмазное шлифование имеет производительность в 3-5 раз большую, чем абразивное и алмазное. Плазменный нагрев и механическое резание в 4-6 раз производительнее механического резания и др.

## Литейные процессы

### 1. Общие положения

Для снижения металло- и трудоемкости изготовления таких деталей как корпуса приборов, радиаторы, магниты и др. производят из литых заготовок – *отливок*. Литьем можно получать фасонные отливкам различной конфигурации из сплавов на основе меди, алюминия, титана и других черных и цветных металлов, которые другими методами изготовить сложно. Применение литейных процессов для изготовления заготовок рациональной формы дает не только экономию металла, но и в десятки раз снижает трудоемкость последующих операций обработки деталей.

Основными операциями технологического процесса являются:

1. Подготовка исходных литейных материалов (массовый расчет, определение состава шихты, количества рафинирующих, компенсирующих угарание и модифицирующих добавок и др.).

2. Изготовление одноразовых и подготовка многоразовых литейных форм (очистка, сборка, смазка, подогрев и др.).

3. Плавка металла и его заливка в форму.

4. Извлечение отливки из формы после затвердевания.

5. Отрезка литников, контроль отливки и др.

В зависимости от технологического оборудования и конструкций литейных форм различают:

- литье в песчаные (земляные) формы;
- литье в металлические формы;
- литье под давлением;
- центробежное литье;
- литье по выплавленным моделям ;
- литье намораживанием;
- литье в оболочечные формы и др.

Типовым технологическим оборудованием литейных цехов являются плавильные агрегаты (рис.1), машины для литья под давлением, машины для центробежного литья, формовочные машины, агрегаты для сушки форм, станки для отрезки литников и др.

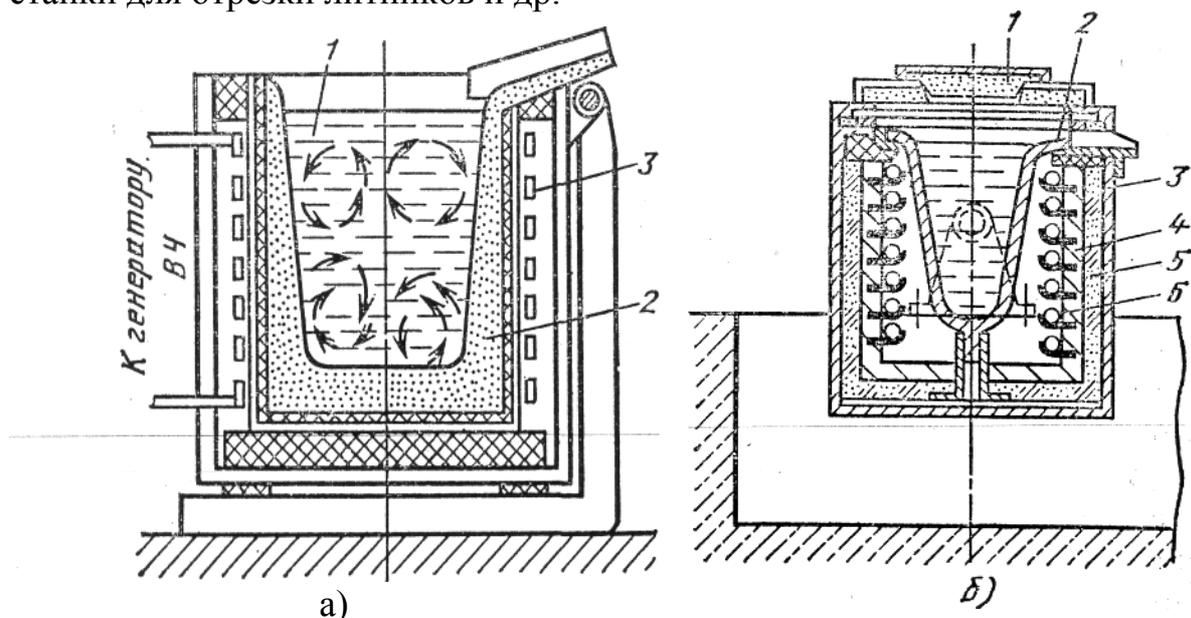


Рис.1. Устройство плавильных печей: а – индукционной; б - сопротивления

К СТО литейных операций относятся литейные формы, модели, кокили, пресс-формы и др. Важнейшими технологическими свойствами литейных сплавов являются: температура заливки (определяет стойкость металлических форм); жидкотекучесть (возможность получения тонко-стенных отливок) и коэффициент усадки (характеризует относительное изменение размеров после охлаждения).

Конструкция отливки (рис.2) должна:

- обеспечивать ее легкое извлечение из формы, для этого поверхностям, перпендикулярным плоскости разъема, придают уклон или конусность;

- толщина стенок должна быть малой и одинаковой для равномерности охлаждения;
- формы должны быть простыми без резких переходов от толстых сечений к тонким, нескругленных поворотов, тонких перемычек и т.п.;
- сопряжения стенок должны быть плавными с большим радиусом переходов, при этом не создаются дополнительные сопротивления, не снижается скорость потока металла и его остывание;
- следует исключать большие местные скопления металла, возникающие в пересечении стенок, приливах, бобышках и т.д. Это приводит к неравномерному остыванию и образованию усадочных раковин.

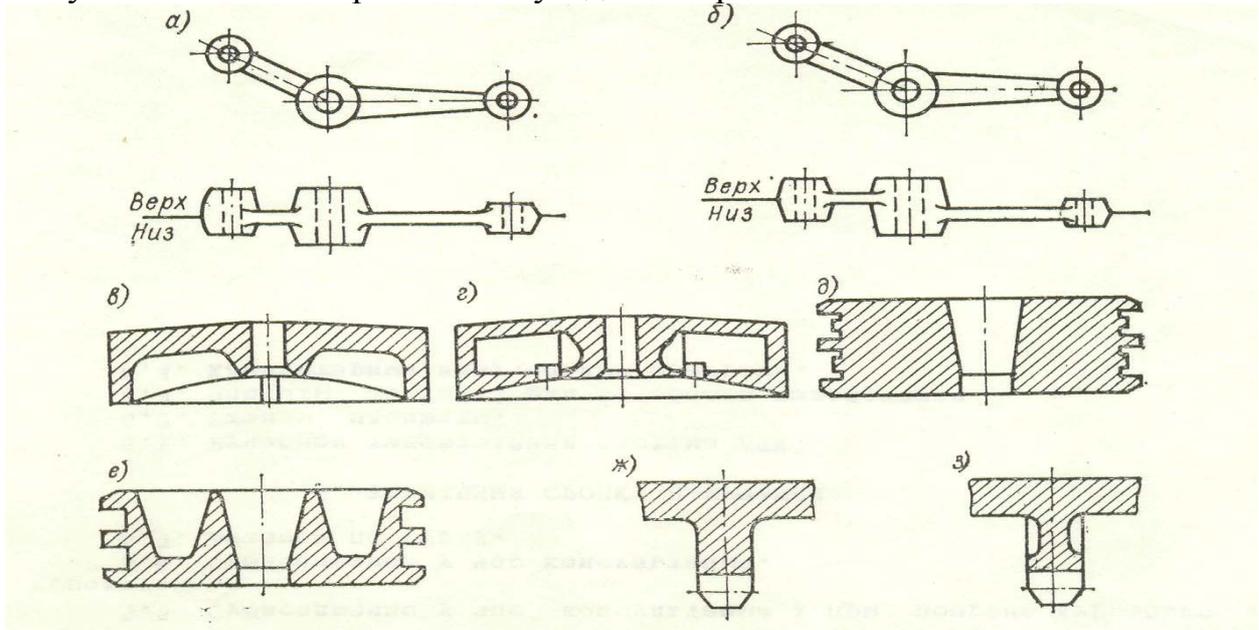


Рис.2. Конструкции технологичных (а, в, е, з) и нетехнологичных (б, г, д, ж) отливок

Большое значение имеет выбор конструкции и расчет габаритов элементов литниковой системы (совокупность резервуаров и каналов, через которые расплав подается в полость литейной формы). Они должны обеспечивать равномерное и спокойное течение расплава, улавливать шлак и др. включения, создавать подпитку и компенсировать усадку, способствовать равномерному затвердеванию отливки и др.

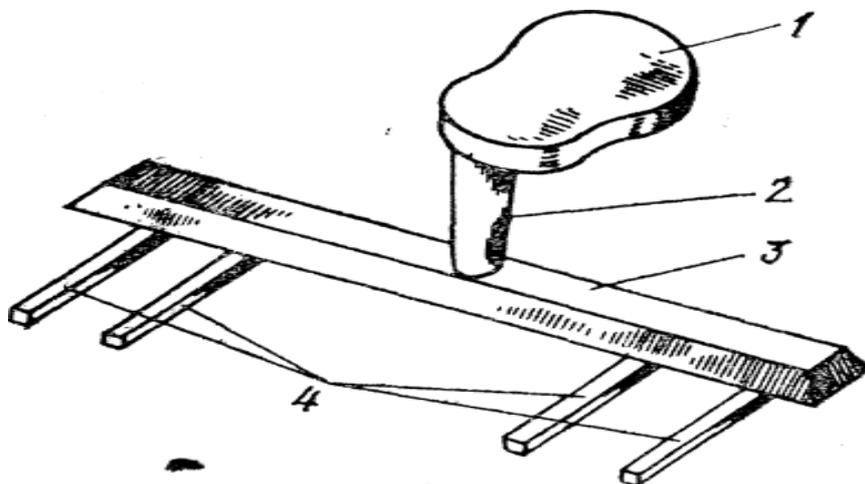


Рис. 3. Элементы литниковой системы: 1 – литниковая чаша или воронка; 2 – стояк; 3 – питатель; 4 – литниковые каналы

Основными элементами литниковой системы являются (рис.3): литниковая чаша (воронка) – предназначена для приемки расплава из ковша, передачи его в стояк и частичного удаления шлака; стояк круглого, овального или прямоугольного сечения – по нему расплав подается в питатель и далее, через литниковые каналы, в формующую полость. На практике используется много разновидностей литниковых систем и их выбор определяется такими факторами как конструкция и габариты отливки, метод заливки, вид литейного сплава и др.

## 2. Литье в песчаные формы (в землю)

Производится в разовые формы, которые служат для изготовления одной отливки и при ее извлечении разрушаются. Формы изготавливаются из песчаноглинистой, песчаносмолистой и др. смесей. Различают: сырые формы (формовка по сухому), поверхностно подсушиваемые и химически-твердеющие формы. Наибольшее применение имеет формовка по-сырому из песчано-глинистых смесей (рис.4).

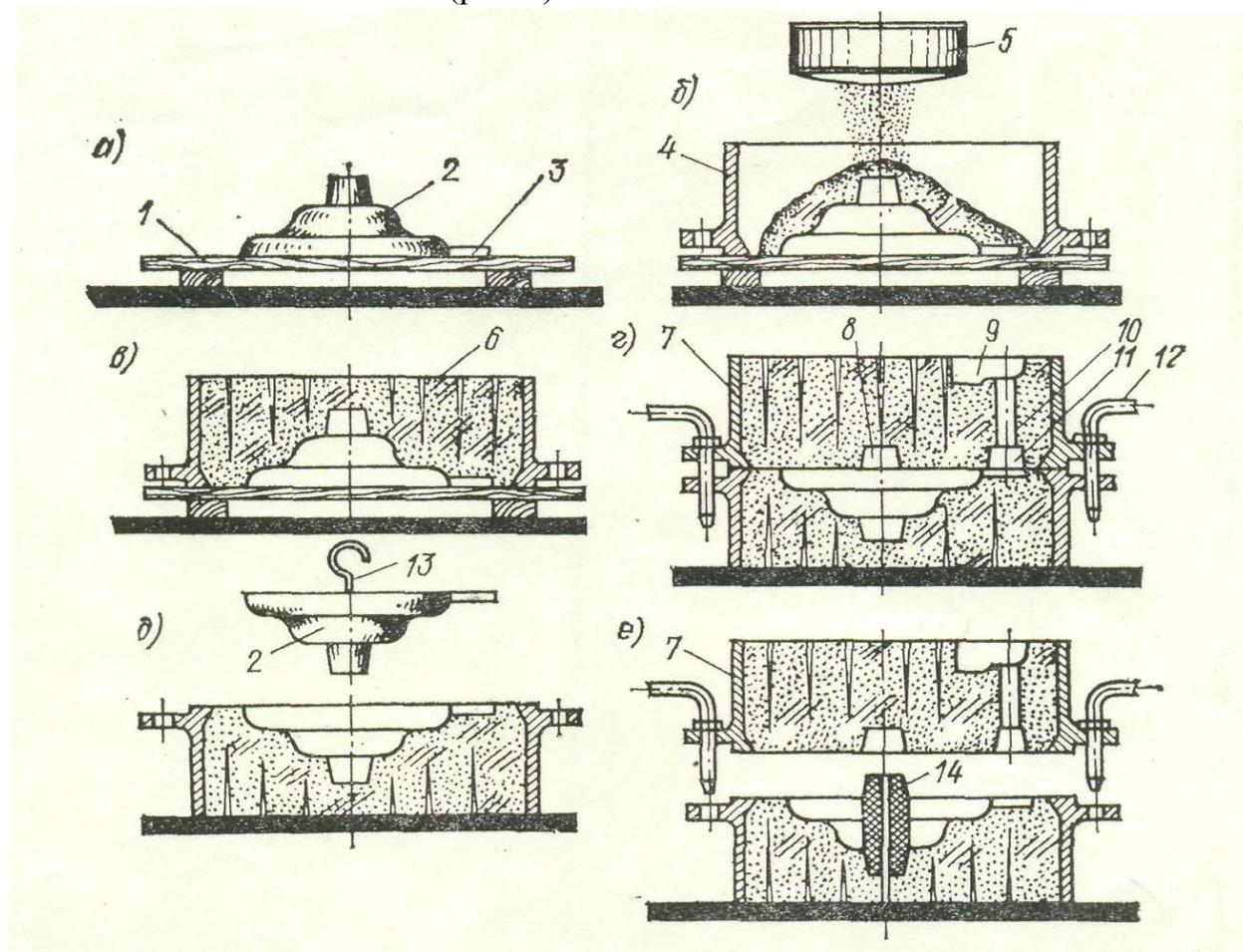


Рис.4. Основные операции изготовления песчаной формы

Литье в землю применяется для получения больших отливок сложной конфигурации из чугуна, силумина и бронзы. Точность литья невысокая, ше-

роховатость большая ( $R_a$  300-600), поэтому отливки требуют механической обработки.

### 3. Литье под давлением

Применяют для получения заготовок массой  $\leq 16$  кг из легкоплавких цветных сплавов. Самый производительный способ литья (60-150 отливок в час в одногнездной форме,  $>2500$  в многогнездной). Используется для массового и серийного производства из-за высокой стоимости СТО и оборудования.

В поршневых машинах (с горизонтальной или вертикальной камерой сжатия) расплавляется металл (кроме алюминиевых сплавов) под высоким (до 500 МПа) давлением и с большой скоростью (до 80 м/с) подается в рабочую полость стальной формы через подводящий канал поршнем (рис.5).

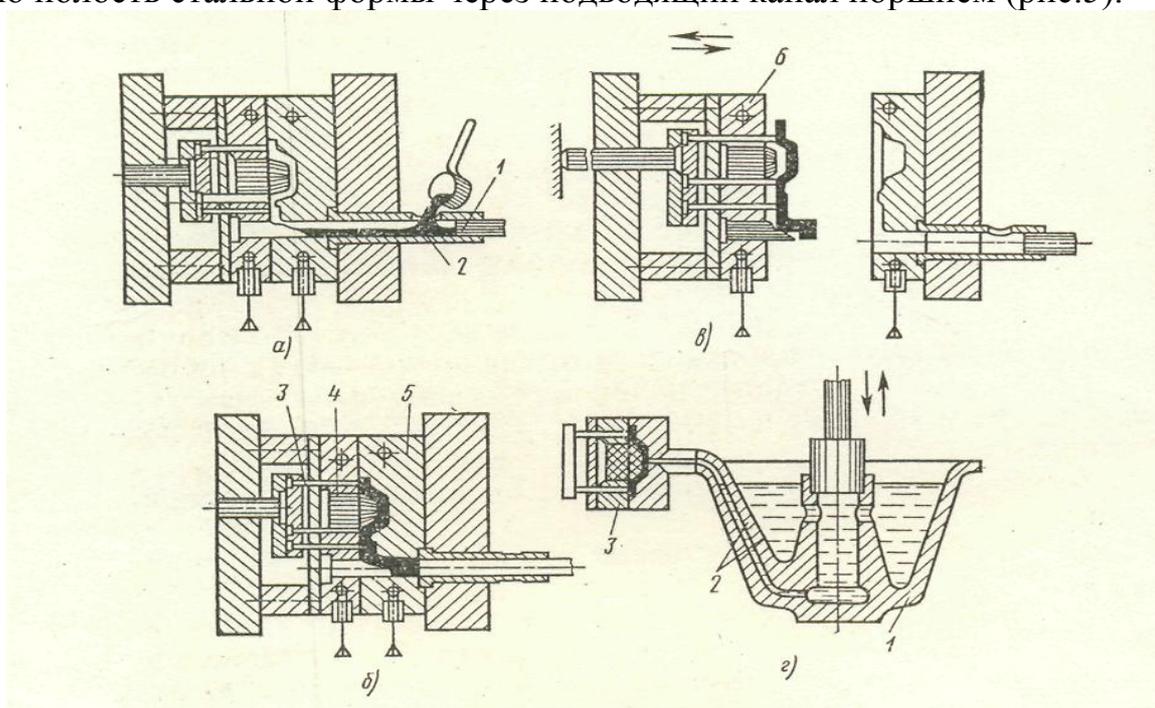


Рис.5. Последовательность операций литья под давлением на машинах с холодной горизонтальной (а, б, в) и горячей (г) камерами сжатия

Алюминиевые сплавы отливаются в компрессорных машинах, где давление на металл создается сжатым воздухом (расплавленный алюминий разрушает поверхность поршня и камеры давления). Поршневые машины дают более точные и качественные отливки (меньше газовых включений, более плотный металл), но обладают меньшей производительностью из-за ручной подачи порции жидкого металла.

Оптимальной является температура жидкого металла на  $20-30^\circ$  выше его  $T_{пл}$ . При повышенных температурах перегревается и быстро выходит из строя форма, увеличивается пористость и число раковин, при заниженных – литейная форма плохо заполняется. Качество литья определяется конструкцией и качеством изготовления форм. Из-за высокой стоимости используются формы для групповой отливки, системы вкладышей для изменения конфи-

гурации отливок, а также нормализованные конструкции форм для различных заготовок.

Достоинства метода: точность размеров (8-12 кв.), шероховатость  $R_{\text{я}} 40-6,3$ , толщина стенок до 0,6 мм, малые припуски на обработку, возможность армирования. Недостатки: высокая стоимость и сложность изготовления форм, пористость отливок, трудность получения толсто-стенных заготовок (из-за высокой скорости заливки образуются раковины).

Получают: заготовки станин, кронштейнов, радиаторов, экранов, корпусных деталей и др.

#### **4. Литье по выплавляемым моделям**

Модель, изготовленная из легкоплавкого материала (парафин, стеарин, терезин) выплавляется из формы. Поскольку форма не разнимается, точность литья высокая. Модели изготавливаются в разъемных металлических пресс-формах. Такое литье применяется в массовом и серийном производстве для получения деталей сложной конфигурации из сталей, цветных сплавов и труднообрабатываемых материалов массой до нескольких килограммов.

Достоинства метода: высокая производительность и возможность автоматизации; точность размеров (10-12 кв.) и шероховатость  $R_{\text{я}} 40-10$ ; сокращение на 40-80% объема механической обработки за счет уменьшения припусков и толщины стенок; возможность армирования отливок и получения деталей сложной конфигурации из труднообрабатываемых материалов, не требующих дополнительной обработки. Основной недостаток: высокая стоимость литья.

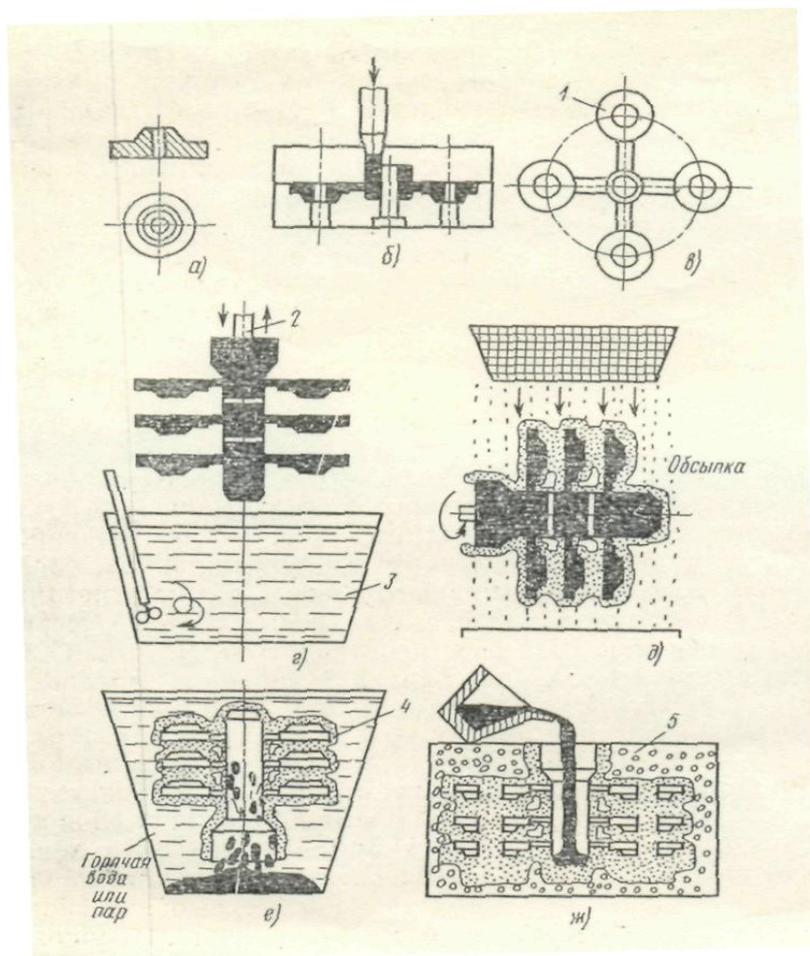


Рис.6. Основные операции литья по выплавляемым моделям

Операции ТП: изготовление модели с литниковой системой и сборка их в блоки; нанесение огнеупорного покрытия (окунание в суспензию, обсыпка, огнеупором, сушка – так 3-8 раз), выплавление модели; ее заформовывание в опоку и прокаливание, заливка металла.

### 5. Центробежное литье

Основано на использовании центробежных сил, прижимающих жидкий металл к стенкам формы–изложницы и упрочняющих заготовку.

Используются литейные машины с горизонтальной (длинномерные отливки) и вертикальными осями вращения. Последние наиболее широко используются в серийном и массовом производстве таких деталей РЭС и ВС, как маховики, шкивы и другие детали типа тел вращения, а также фасонных отливок сложной формы массой до сотен килограммов из сплавов меди. Изложницы могут быть в виде форм, получаемых по выплавленным моделям.

Достоинства: точность 0,06-0,1 мм, хорошее заполнение формы, высокая плотность и качество отливки (газы, шлак и легкие включения вытесняются в литник).

Недостатки: разделение компонентов по плотности, повышенные припуски на механическую обработку внутренних размеров.

## 6. Литье в кокиль

**Кокиль** - разъемная металлическая форма (рис.7). Метод используется в массовом и серийном производстве небольших отливок в основном из цветных сплавов.

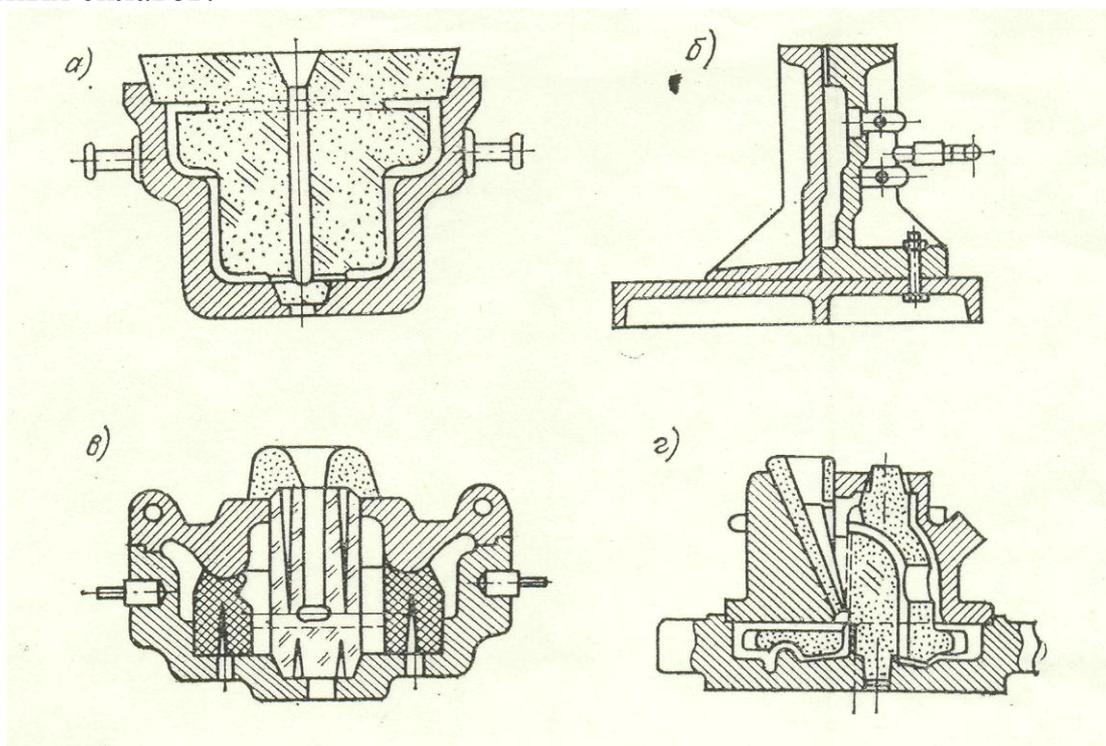


Рис.7. Кокили: а – вытряхного типа; с вертикальной (б), горизонтальной (в) и комбинированной (г) линиями разъема

Операции ТП: смазка частей и сборка кокиля, установка стержней (для получения полостей); подогрев кокиля (для лучшего заполнения и предотвращения образования трещин при быстром охлаждении отливок): простые отливки  $150-200^{\circ}$ , сложные –  $300-450^{\circ}$  С; заливка металла, охлаждение до  $300-350^{\circ}$  С; разборка кокиля и извлечение отливки.

Температура и скорость заливки должны обеспечивать заполнение всего объема кокиля металлом до его затвердевания и выхода газов.

Конструкция кокиля должна обеспечивать его быструю сборку, разборку и извлечение заготовки. Материал – жаропрочные стали.

Достоинства метода: высокая производительность; возможность многократного использования формы; большая точность размеров (12-14 кв.); шероховатость  $R_a 80-20$ ; возможность получения тонкостенных (1,5-2 мм) и армированных заготовок, высокая механическая прочность отливок (мелкозернистая структура из-за высокой скорости остывания); высокая производительность (за смену при изготовлении заготовок средних размеров из чугуна – 1500-5000 шт., медных сплавов – 3000-10000 шт.; алюминиевых сплавов – 50000-70000 шт.).

Недостатки: высокая стоимость и сложность изготовления кокилей, их малая стойкость, трудность получения отливок из тугоплавких сплавов и

разностенных отливок (большие внутренние напряжения при переходе к другому сечению).

#### 7. Литье намораживанием и другие методы непрерывного литья

На зеркало жидкого металла помещают поплавок, форма внутреннего отверстия которого соответствует наружному профилю поперечного сечения отливки. В отверстие вводят затравку из того же металла, что и расплав. Поперечное сечение затравки соответствует профилю детали. Происходит сцепление затравки с расплавом и затравке придается поступательное движение вверх. Под действием атмосферного давления, сил сцепления и поверхностного натяжения жидкий металл поднимается за затравкой, охлаждается в кристаллизаторе и образуется отливка (Рис.8).

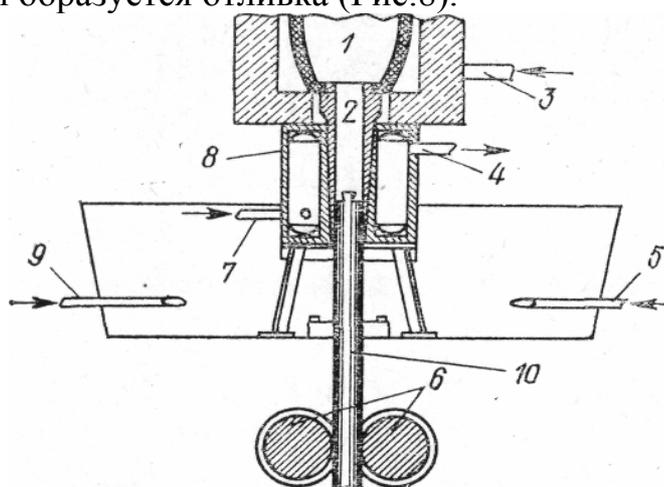


Рис.1. Установка непрерывного литья сплавов цветных металлов

Этим методом получают сложные длинномерные профили с толщиной стенок до 0,2 мм для радиаторов, ленты, трубы. Способ не требует сложной оснастки и может быть применен для всех типов производства. Недостаток – низкая скорость литья.

Механические свойства таких заготовок значительно выше свойств аналогичных отливок, получаемых литьем в кокиль и центробежным литьем.

# Обработка давлением

Обработкой давлением называют процессы получения изделий методами пластического деформирования при силовом воздействии инструмента на исходную заготовку из пластичного материала. Широкое распространение методов обработки давлением обусловлено их низкой себестоимостью, высокими производительностью и качеством изделий.

В зависимости от материала заготовки, формы и размеров деталей, применяемого оборудования и типа производства различают: прокатку, волочение, ковку, прессование и штамповку.

## 1. Прокатка

Это деформирование металла вращающимися валками для изменения формы и размеров поперечного сечения и длины нагретых или холодных заготовок. Валки бывают гладкие для лент и листов и калиброванные, имеющие на рабочей поверхности вырезы (ручьи) в соответствии с профилем изделия. Совокупность ручьев пары валков называется калибром. Прокатка производится за несколько пропусков заготовки между валками с постепенным приближением к требуемому профилю и размерам.

Прокатку производят на обжимных станах (слябинги и блюминги) с валками диаметром 800-1400 мм, мелких деталей – на заготовительных станах. Готовый прокат, получаемый из полупродукта, применяют в конструкциях и в качестве заготовок дляковки, штамповки, изготовления деталей резанием. Совокупность различных профилей и размеров проката называется **сортаментом**. Он бывает четырех групп: листовой и сортовой прокат, трубы и специальные виды проката.

Широкое распространение в производстве деталей машин и приборных устройств получила прокатка на специальных деталепрокатных станах. Этим методом изготавливают заготовки таких изделий как ступенчатые и торсионные валы, оси, зубчатые колеса, кольца подшипников, трубы с оребрением, детали гидро- и пневмоцилиндров и др. По сравнению с обработкой резанием производительность увеличивается до 14 раз, экономится до 30 % металла, на 30-50% повышаются прочностные характеристики деталей. Разновидностями метода являются (рис. 1): винтовая прокатка (в т.ч. периодических профилей), продольная, поперечно-клиновья прокатка, поперечная прокатка зубчатых колес и др.

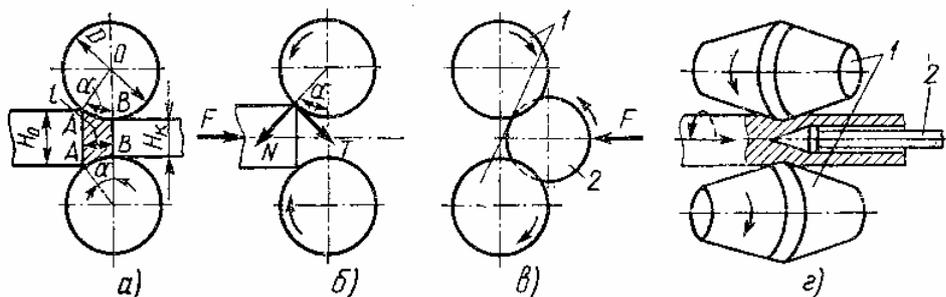


Рис.1. Продольная (а,б), поперечная (в) и поперечно-винтовая (г) прокатки

## 2. Волочение

Заключается в протягивании заготовки через сужающееся отверстие в инструменте (*волоке*). Конфигурация отверстия определяет профиль изделия (рис.2).

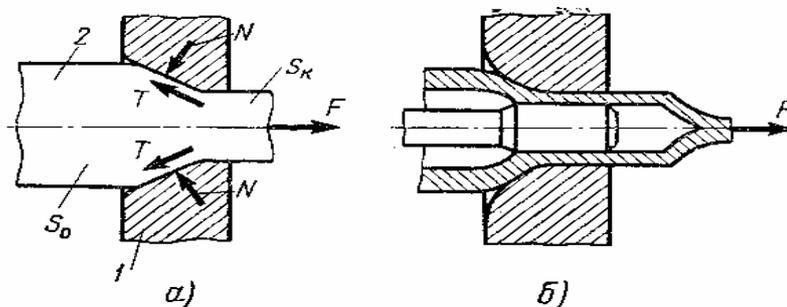


Рис.2. Схемы волочения прутка (а) и трубы (б)

Исходными заготовками являются прокатные или прессованные трубы и прутки. Этим методом получают проволоку диаметром 0,002-10 мм; фасонные профили; калибруют трубы диаметром 3-150 мм. Волочение проводят в холодном состоянии, что обеспечивает высокую точность размеров и хорошее качество поверхности.

## 3. Прессование

Это выдавливание заготовки пуансоном через отверстие в матрице, соответствующее сечению выдавливаемого профиля (рис.3). Исходной заготовкой является слиток или прокат.

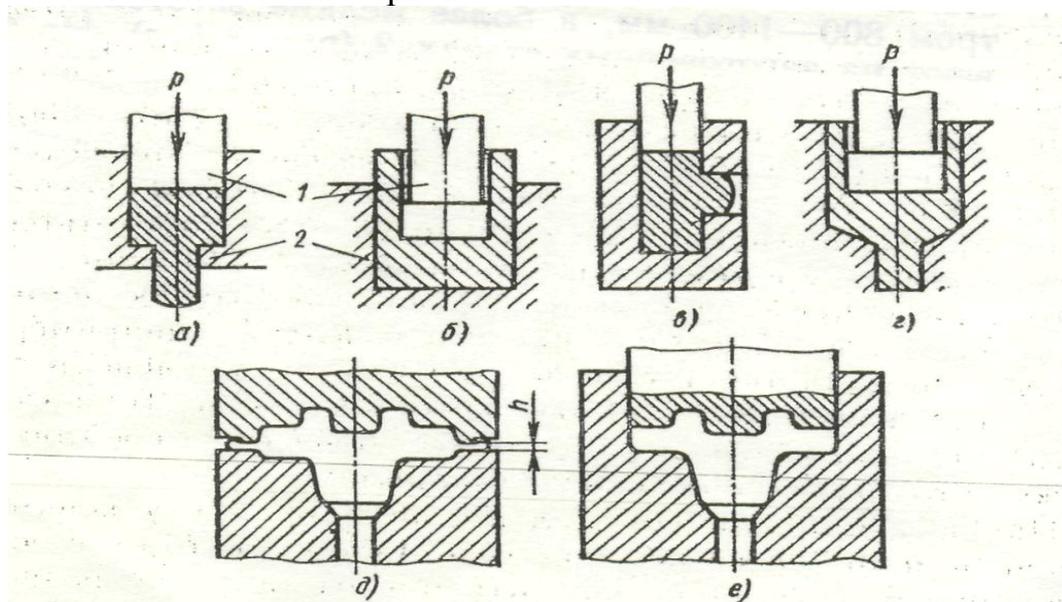


Рис.3. Схемы прямого (а), обратного (б), бокового (в) и комбинированного (г) выдавливания; объемной штамповки в открытых (д) и закрытых (е) штампах

Этим методом получают прутки диаметром 3-250 мм; трубы диаметром 20-400 мм со стенками от 1,5 до 12 мм и другие сплошные полые профили с постоянным и переменным сечением. Точность выше, чем при прокатке.

#### 4. Ковка

Это деформирование нагретой заготовки рабочей поверхностью универсального инструмента (бойка) при свободном течении металла в стороны (рис.4). Исходные заготовки: слитки, блюмы, сортовой прокат.

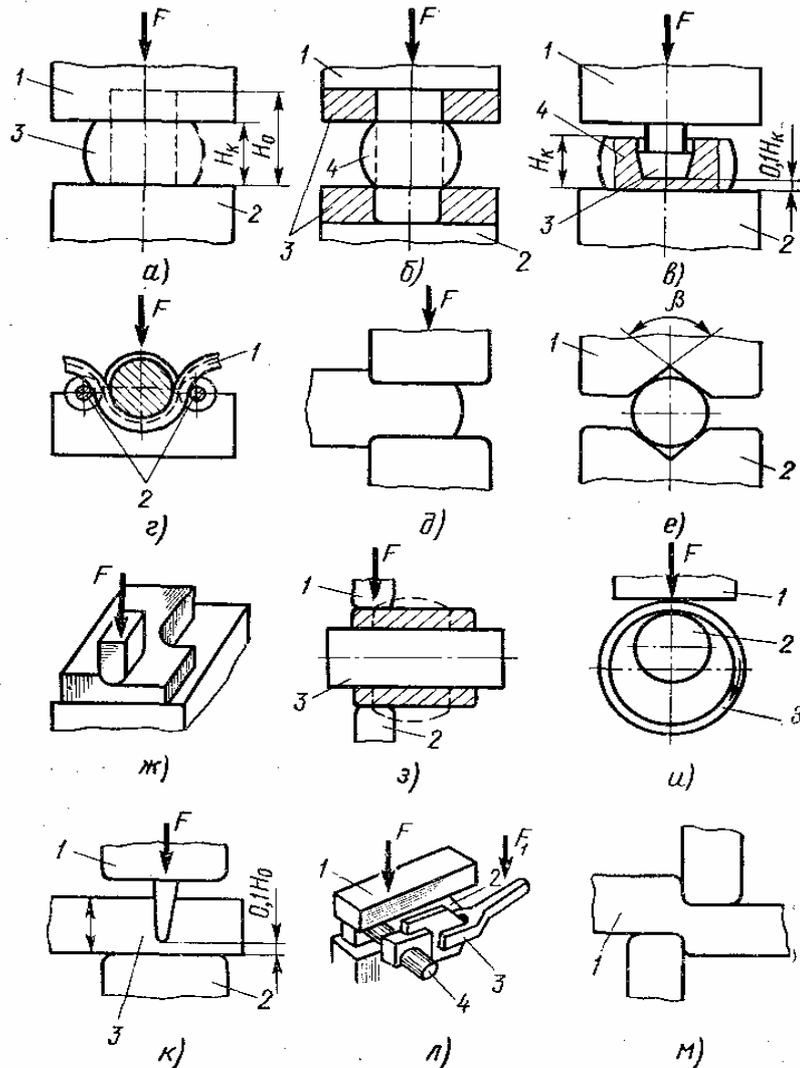


Рис.4. Схемы основных операций свободной ковки: а – осадка; б – высадка; в – прошивка; г – гибка; д,е,з – протяжка; ж – разгонка; и – раскатка; к – рубка; л – скручивание

Получают разнообразные по форме и размерам поковки массой до 300 т., которые являются заготовками для обработки резанием (Рис.4).

#### 5. Штамповка

Это обработка сортового и листового проката давлением с помощью специального инструмента (штампа). Штамповка может быть объемной и листовой. *Объемная штамповка* – это деформирование нагретой заготовки в

замкнутой полости штампа, форма и размеры которой определяют форму и размеры получаемой поковки (рис.3д, е). Производится на молотах, прессах, горизонтально-ковочных машинах и другом оборудовании.

Простые поковки из прутка штампуются в одноручьевом штампе (в один переход), сложные – в многоручьевых, за несколько переходов. Так, поковка шатуна (рис.5) после нагрева обрабатывается в заготовительных ручьях: протяжном 1 (вытяжка), подкатном 2 (перераспределение металла) и гибочном; затем в черновом 5 и чистовом 3 штамповочных ручьях.

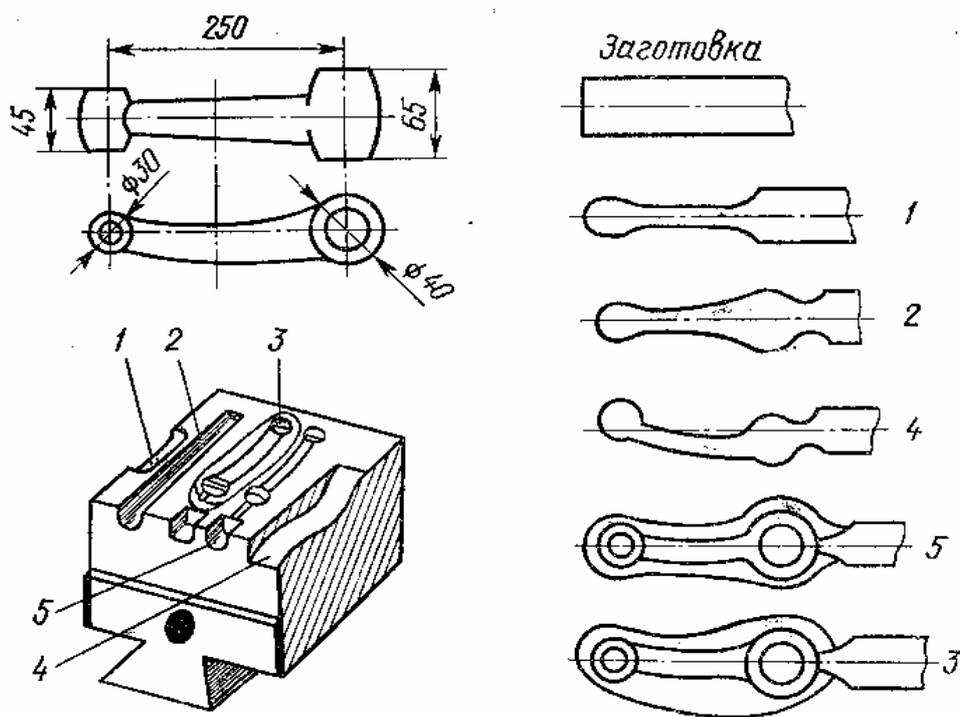


Рис.5. Горячая объемная штамповка шатуна в многоручьевом штампе

*Листовой штамповкой* называется процесс деформирования (с местным разрушением и без него) заготовки из листа в холодном состоянии в штампе, имеющем матрицу с прижимным кольцом и пуансон.

Производится на специальных штамповочных прессах механического, гидравлического и пневматического действия. По сравнению с горячей штамповкой имеет ряд преимуществ: отсутствуют энергоемкие операции нагрева, поверхность металла не окисляется, изделия имеют более высокие точность и качество поверхности. В отличие от обработки резанием холодная штамповка позволяет значительно сократить расход металла, уменьшить трудоемкость и повысить производительность, за счет деформационного упрочнения детали получают более легкими и износостойкими. Для нее присуще также ограниченная номенклатура и простота эксплуатации оборудования, широкие возможности механизации и автоматизации процессов, низкая квалификация рабочих и др. Однако фактор высокой стоимости оснастки (штампов) предъявляет жесткие требования к качеству разработки технологического процесса и типу производства. Наибольшее применение этот метод находит в серийном и массовом производстве.

Все операции холодной листовой штамповки можно разделить на формоизменяющие и разделительные. Отдельными группами можно считать комбинированные и штампосборочные (рис.6) операции.

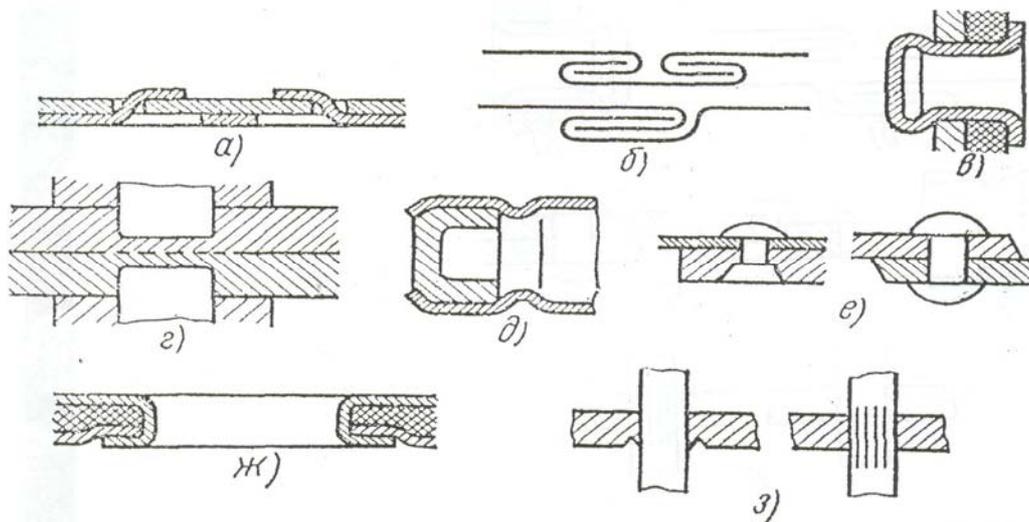


Рис.6. Штампосборка лапками (а), в замок (б), раздечей (в), холодной сваркой (г), обжимкой (д), клепкой (е) и др.

Виды штамповочных операций, их количество и последовательность выполнения устанавливаются исходя из геометрической формы, заданной точности размеров и качества поверхности детали. При вырубке и пробивке можно изготавливать детали толщиной до 20 мм 8–9-го кв. точности, с шероховатостью поверхности среза  $R_z$  3,2-1,6 мкм. Для обеспечения более высокой точности деталей, особенно сложной формы, выполняют операции зачистки, которые обеспечивают точность размеров до 6-го кв.,  $R_a$  2,5–0,63 мкм для стальных деталей и  $R_a$  0,63-0,32 мкм – для деталей из цветных металлов и сплавов. При гибке можно получить детали с точностью размеров до 7–8-го кв.; при вытяжке – точность до 7–9-го кв.,  $R_a = 0,32–0,08$  мкм

### 5.1. Материалы, применяемые для холодной штамповки

В качестве исходного заготовок используются различные металлические и неметаллические материалы, обладающие достаточной пластичностью, в виде листа, полосы или ленты.

Из углеродистой стали обыкновенного качества групп А, Б и В штампуют детали, несущие малые нагрузки и бытовые изделия. Из качественной углеродистой стали марок 10, 15 и др. – детали с повышенными требованиями к прочности и качеству поверхности. Хорошими пластическими свойствами обладает низкоуглеродистые кипящие стали (05кп, 08кп, 10кп, 15кп и др.), однако при длительном хранении она стареет с повышением твердости и прочности и уменьшением пластичности. Это приводит к появлению в штампованных деталях поверхностных дефектов. Используя присадки и раскислители (алюминий, титан, ванадий и др.), получают нестареющие стали (08Фкп, 08Юпс и др.).

Горячекатанную листовую сталь общего назначения, имеющую в состоянии поставки слой окалина, штампуют редко, поскольку окалина приводит к быстрому износу пуансонов и матриц. Декапированную (отожженную, очищенную от окалины) листовую сталь толщиной 0,25 – 3 мм получают прокаткой мягкой конверторной или мартеновской стали, отжигают и очищают (травлением) от окалины. Она хорошо штампуются и из нее изготавливают малонагруженные детали, не предназначенные для последующего полирования хромирования или никелирования.

Холоднокатанную листовую сталь выпускают светлой без окалины. Такую сталь после горячей прокатки, отжига и очистки от окалины прокатывают в холодном состоянии до заданной толщины с промежуточным или окончательным отжигом в защитной среде.

Тонколистовую качественную углеродистую сталь по степени отделки поверхности подразделяют на четыре группы. На листах группы I с особо высокой отделкой поверхности на лицевой поверхности не допускаются дефекты. На листах группы II (высокая отделка поверхности) допускаются легкие царапины, небольшая рябизна. Листы этих групп изготавливают только холодной прокаткой. Листы группы III (повышенная отделка поверхности) могут быть как горяче-, так и холоднокатанными. На лицевой стороне листа допускаются царапины, риски, рябизна, отпечатки валков в пределах половины допуска на толщину листа. Листы группы IV с нормальной отделкой поверхности выпускаются горячекатанными. На обеих сторонах допускаются меткие поры и раковины, легкие царапины и риски, рябизна в пределах допуска на толщину листа.

По точности выполнения толщины листа сталь бывает трех групп: А – высокой точности (качественные холоднокатанные листы), Б – повышенной точности (обыкновенного качества и качественные холодно- и горячекатанные листы) и В – обычной точности (обыкновенного качества и качественные горячекатанные листы).

По способности к вытяжке в холодном состоянии различают листы групп: ВГ (для весьма глубокой вытяжки), Г (для глубокой вытяжки), Н (для нормальной вытяжки).

По степени твердости стальная низкоуглеродистая холоднокатанная лента может быть особо мягкой (ОМ), мягкой (М), полумягкой (ПМ), пониженной твердости (ПТ) и твердой (Т); по качеству поверхности – I, II и III класса; по точности изготовления – Н (нормальной точности), ВШ (повышенной точности по ширине), ВТ (повышенной точности по толщине), В (повышенной точности по ширине и толщине); по характеру кромок – НО (необрезная лента), О (обрезная лента).

Черную отожженную полированную жечь изготавливают толщиной 0,18 – 0,55 мм, а белую жечь – толщиной 0,21 – 0,55 мм. После прокатки, отжига и удаления окалины жечь дополнительно прокатывают для получения зеркальной поверхности, которую у черной жести оставляют темной, а у белой покрывают тонким слоем олова. Из черной жести штампуют тонкостенные детали бытовых изделий, подвергающиеся затем окраске. Из белой жести из-

готовляют консервные банки, коробки для упаковки пищевых продуктов, некоторые тонкостенные детали, поверхности которых должны быть защищены от коррозии.

Для изготовления ответственных деталей применяют легированные конструкционные стали марок 10Г2А, 12Г2А, 20ХГСА, 25ХГСА и др. Они обладают хорошей способностью к штамповке в отожженном состоянии и хорошо свариваются, что важно при создании штампосварных конструкций.

Детали с повышенной коррозионной стойкостью штампуют из коррозионно-стойких хромистых или хромоникелевых сталей (марок 12Х13, 12Х18Н9 и др.).

Совершенствование сортамента и повышение качества металлопродукции способствуют экономии металла. Металлургическая промышленность освоила выпуск многих новых материалов: двухслойных (в т.ч. биметаллических) и многослойных стальных листов с покрытием из пластмассы; листовой стали специального назначения и др.

В приборо- и аппаратостроении вместо коррозионно- и жаростойких сталей используют холоднокатаную полосу (сталь 08кп), диффузионно-хромированную в вакууме. Глубина защитного слоя 30 – 100 мкм. Сталь обладает хорошими пластическими свойствами и стойкостью во многих активных средах при повышенной температуре. Толщина полосы 1 – 1,5 мм, ширина – до 320 мм.

Стальные полосы с полимерным покрытием (металлопласт) применяют в химической, автомобильной, пищевой, радиотехнической промышленности. Они обладают высокими коррозионно- и износостойкостью, электро- и звукоизоляционными свойствами. Толщина пластмассового покрытия 0,3 мм при толщине стального листа 0,5 – 1 мм.

Алюминий и его сплавы (дуралюмины) находят широкое применение при изготовлении различных деталей приборов, бытовых изделий и т. д. Эти материалы отличаются легкостью, пластичностью, хорошо проводят теплоту и электрический ток. Наиболее часто применяют алюминий марок А1, А2, А3, АД, АД1 и дуралюмин марок Д1, Д6, Д16.

Из медных листов и лент (марок М1, М2, М3) штампуют в основном детали электротехнической аппаратуры. Латунь (главным образом марок Л62, Л68, Л70) применяется при штамповке деталей часов, радиодеталей, посуды и др. Для холодной штамповки применяют также алюминиевые, бериллиевые и кадмиевые бронзы, упрочняемые термической обработкой.

Никель марок Н1, Н2, Н3 и его сплавы (мельхиор и нейзильбер) применяют для изготовления химической посуды, приборов, деталей часов, ювелирных изделий.

Магниевого сплавы отличаются легкостью, прочностью, удовлетворительной пластичностью при комнатной температуре и высокой пластичностью при нагреве до 350 – 380°C. Магний в 1,5 раза легче алюминия и в 4,5 раза легче стали. Сплавы магния марок МА1 и МА8 (повышенной коррозионной стойкости) широко применяют для штамповки самых разнообразных

изделий. Из деформируемых магниевых сплавов изготавливают детали электротехнического оборудования, РЭС и ЭОС.

Титан и его сплавы, обладающие высокой прочностью при малой плотности, все шире используется в штамповочном производстве для изготовления ответственных деталей РЭС и ЭОС. Некоторые операции штамповки титана проводят с подогревом. В основном применяют деформируемые сплавы титана марок ВТ1-1, ВТ1-00, ВТ-5, ВТ-6, ОТ4.

*Неметаллические материалы используют для штамповки главным образом прокладок, изоляционных и декоративных элементов, деталей, не подвергающихся большому механическому и термическому воздействию. Наибольшее применение находят пластические массы, резина, эбонит, материалы на основе бумаги (картон, фибра), материалы минерального происхождения (слюда, миканиты).*

Наиболее распространенными листовыми материалами из пластмасс являются: гетинакс, текстолит, органическое стекло, винипласт, полистирол, фторопласт, полиуретан, целлулоид и др.

Гетинакс (прессованная бумага, пропитанная фенолформальдегидными или эпоксидными смолами) поддается лишь вырубке, а текстолит (прессованная ткань, пропитанные такими же смолами) – вырубке, а при нагреве – гибке и вытяжке.

Винипласт и органическое стекло (полиметилметакрилат) – материалы с высокими электроизоляционными и антикоррозионными свойствами – хорошо штампуются в подогретом состоянии.

Листовой целлулоид бывает технический белый, технический прозрачный, авиационный (прозрачный) и галантерейный (различного цвета). Целлулоид легко штампуются, особенно при нагреве.

Из резины штампуют главным образом прокладки и детали, необходимые для герметизации пневматических и гидравлических систем, электроизоляции, уменьшения вибраций, шумов. Из-за высокой эластичности резины ее штамповка затруднена, поэтому в основном изделия вырезают. Вулканизированная резина с большим содержанием серы – твердый и вязкий эбонит, обладающий очень высокими электро-изоляционными свойствами, при нагреве поддается штамповке.

Основными листовыми материалами, получаемыми на основе бумаги, являются картон и фибра. Картон прессуют из бумажной массы, а фибру получают обработкой специальной бумаги раствором хлористого цинка. Картон и фибру можно вырезать на штампах обычного типа. Штампуют также фетр, кожу, войлок, прессшпан и др.

Материал, поступающий в цехи холодной штамповки, имеет специальный документ – сертификат, в котором завод-поставщик указывает его марку, химический состав, механические свойства, размеры листов, полос или прутков, массу партии. Перед использованием материала в производство он подвергается целому ряду проверок. К ним относятся общие проверки – установление размеров и состояния поверхности, а также при необходимости

химические, металлографические, механические и технологические испытания.

Химический анализ устанавливает соответствие состава материала требованиям ГОСТ. Металлографические исследования, т. е. исследования макро- и микроструктуры, позволяют установить в металле наличие усадочных раковин, рыхлостей, волнистости, трещин, включений, а также определить направление волокон (что важно при гибке и других операциях) и характер среза при вырубке. Определяют размер зерен и характер структуры. По этим данным судят о штампуемости материала.

Для определения пригодности материала к той или иной обработке давлением проводят технологические испытания – пробы. Листовые материалы, предназначенные для штамповки, испытывают на срез, изгиб, перегиб, пригодность к вытяжке и др.

## 5.2. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА

### ШТАМПОВКИ

#### 5.2.1. Общие положения

Исходными данными для проектирования являются рабочие чертежи детали, технические требования на нее и программа выпуска. Конструкция детали должна удовлетворять не только ее назначению и условиям эксплуатации, но и быть технологичной. Общие технологические требования к деталям, получаемым штамповкой:

1. Физико-механические свойства материала заготовки должны соответствовать процессу формоизменения и характеру пластических деформаций.
2. Конфигурация детали должна обеспечивать оптимальное использование материала за счет рационального раскроя.
3. При обычном раскрое желательно повторное использование отхода.
4. Допуски на размеры должны соответствовать экономической точности операций.

Разработка технологического процесса изготовления детали включает: анализ технологичности конструкции, выбор исходной заготовки и раскрой материала, определение последовательности и содержания операций, их совмещенности, количества одновременно штампуемых деталей, назначение оборудования и расчет его загрузки, выбор или проектирование оснастки, нормирование техпроцесса и оформление технологической документации.

Обычно имеется несколько вариантов решения указанных задач и технолог должен выбрать наиболее рациональный и эффективный по технологическим и экономическим критериям вариант.

Оценка технологичности конструкции изделия может быть качественной и количественной. При этом обосновывается выбор материала и его характеристики, конфигурация детали, вид заготовки, оценивается применимость выбранного ТП, степень обеспечения технических требований, вероятность брака, возможность снижения себестоимости и др.

По форме штампованные детали можно подразделить на плоские, изогнутые, полые и объемные. Для каждого класса деталей назначаются операции, обеспечивающие получение требуемой конфигурации.

В общем случае ТП штамповки включает следующие группы операций:

- контрольные для проверки качества исходного материала или полуфабриката;
- специальные по подготовке материала (правка, отжиг, обезжиривание, травление и др.);
- собственно штамповочные для придания заготовке требуемых формы и размеров;
- отделочные и вспомогательные (зачистка, полирование, нанесение покрытий, нарезание резьбы и др.).

Вид операций штамповки и их количество определяет геометрическая форма, сочетание конструктивных элементов детали, требуемая точность размеров, шероховатость поверхности. Желательно, чтобы ТП содержал минимальное число операций. Это достигается объединением простых операций в комбинированные, например, совмещением вырубки и пробивки, гибки и пробивки, пробивки и вытяжки и т.д. Степень объединения операций определяется, прежде всего, сложностью конструкции и изготовления комбинированного штампа.

В плоских деталях имеют место повторяющиеся переходы одной сложной операции. Последовательность этих переходов определяется требованиями точности, возможностями изготовления инструмента и др. Процесс получения гнутых деталей – это постепенное приближение формы плоской заготовки к форме детали. При установлении последовательности операций приходится исходить из пластических свойств материала и возможности расположить заготовку выгодным образом к направлению проката. Необходимо учитывать возможность придания рабочим частям штампа соответствующей конфигурации, осуществления движения этих частей для получения нужной формы гнба и обеспечения точности посредством образования базовых поверхностей для последующих операций.

Сущность процесса получения полых деталей вытяжкой – переход от плоской заготовки к полному телу простой формы с постепенным ее усложнением. Полые детали подвергаются также операциям пробивки отверстий, обрезке, прорезке пазов, образованию лапок и др. При назначении этих операций придерживаются тех же правил, что и при гибке.

Назначая переходы и операции листовой штамповки необходимо:

1. Оптимально использовать материал заготовки и его свойства.
2. При выполнении каждого перехода предусматривать создание технологических баз под последующие переходы.
3. Возможности формообразования ограничены, поэтому при вырубке сложной детали ее контур необходимо расчленять и вырубать поочередно.
4. Знать, что при гибке число операций определяется не только числом и расположением элементов детали, подлежащих гибке, но и пластическими свойствами материала.

5. Иметь в виду, что при вытяжке число операций зависит от пластичности материала, сложности формы детали, отношения ее высоты к диаметру или длине и др. факторов.

6. При многооперационном процессе вводить промежуточную разупрочняющую ТО с последующей очисткой и смазкой заготовки.

7. Помнить, что при гибке и вытяжке возможна деформация ранее полученных отверстий.

8. При повышенных требованиях к форме и размерам деталей предусматривать операции или переходы правки, зачистки и калибровки.

9. При изготовлении полых деталей без дна вытяжку заменять отбортовкой, а при изготовлении гнутых и полых деталей с очень малыми радиусами закругления в углах вводить операцию калибровки.

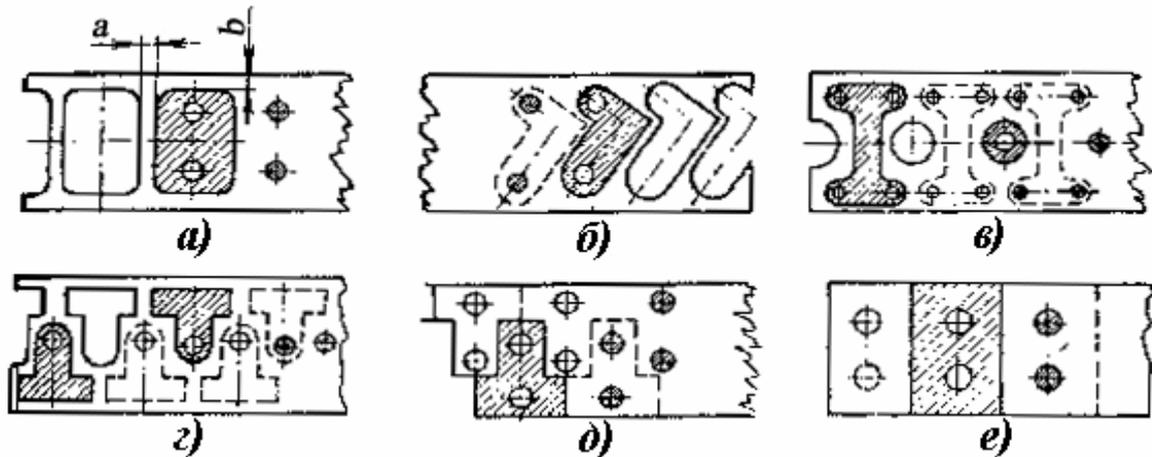
В комбинированных штампах совмещенного действия получают детали с точностью размеров 8-10 кв. При использовании комбинированных штампов последовательного действия точность размеров соответствует 10–12-й кв. Такая же точность обеспечивается при последовательной штамповке в простых штампах, например, в вырубных или пробивных.

В процессе штамповки производят смазку заготовок и колонок штампа. Обязательна смазка заготовок при вытяжке. Сталь смазывают масляной эмульсией, активированным расточным маслом с керосином, детали из меди и латуни – раствором мыла, растительного масла, олеиновой кислоты, соды и воды, алюминия и его сплавов - маслами, парафином, керосином.

### 5.2.2. Выбор исходной заготовки. Раскрой материала

Раскрой или порядок расположения на полосе заготовок (рис.7) бывает:

- отходный – вырезка детали происходит по всему контуру, а перемычка имеет замкнутую форму;
- малоотходный – вырезается только часть контура детали, а в отход идет перемычка, находящаяся между деталями, вырезами или с боков;
- безотходный – вырезка детали без перемычек.





ж)

Рис.7. Раскрой полосы (а-г – отходный, д, е – безотходный, ж – изменение формы детали для сокращения отходов)

Сообразуясь с конструктивными особенностями детали, определяют форму и размеры заготовки. Затем, зная требования к точности, устанавливают вид раскроя, расположение и величину перемычек (рис.7а), которые зависят от физико-механических свойств материала, толщины листа, размера и конфигурации деталей, их точности, типа и конструкции штампа. После этого рассчитывают ширину полосы, для чего предварительно находят размеры боковых перемычек или ширину кромки, срезаемой боковым ножом, и размеры гарантийного зазора, если предполагается штамповка без бокового прижима.

Рациональность раскроя характеризуют коэффициентом использования материала  $\eta$ , определяемого по формуле:

$$\eta = \frac{F_d \cdot n_p}{T \cdot B},$$

где  $F_d$  – площадь заготовки для одной детали;  $n_p$  – количество рядов раскроя;  $T$  – шаг штамповки;  $B$  – ширина ленты, полосы или листа.

Выбор рационального раскроя для деталей сложной конфигурации производится графически. Для этого из бумаги вырезают 2 – 3 шаблона детали с припуском по контуру на величину перемычки и находят выгоднейшее их расположение на полосе с максимальным  $\eta$ .

Раскрой сортового материала выполняют с получением целого числа полос требуемой ширины. Их длина должна быть кратна шагу подачи в штампе. Предпочтительным является продольный раскрой, увеличивающий производительность за счет меньшего числа заправов полос в штамп. Для уменьшения отхода по некратности длины полосы иногда выполняют раскрой поперек листа или комбинированно. При раскрое ленты следует предусматривать у краев припуск 2 – 5 мм для удаления смятых при транспортировке торцов.

Резка листов и лент толщиной 0,5 – 12 мм выполняется на дисковых и гильотинных ножницах, штампах с параллельными ножами. Точность отрезки зависит от толщины и длины заготовки и равна 0,2 – 1,4 мм.

Усилие резки на гильотинных ножницах:  $P = \sigma_B l S$ , где  $l$  – длина, а  $S$  – толщина заготовки, мм,  $\sigma_B$  – предел прочности материала.

Усилие резания дисковыми ножницами:  $P = C S^2 / \alpha$ , где  $C$  – коэффициент, зависящий от толщины и марки материала;  $\alpha$  – угол захвата, град.

### 5.2.3. Разделительные операции

Разделение металла протекает в три стадии (рис.8):

1. Пуансон 1 слегка сжимает и изгибает металл 2 заготовки, вдавливаясь в него и вдавливая металл в матрицу 3 (рис.8а).

2. Продолжающееся вдавливание пуансона прорезает волокна металла сверху (режущей кромкой пуансона) и снизу (матрицей) (рис.8б).

3. В материале появляются трещины скалывания (рис.8в), после соединения которых одна часть металла отделяется от другой (рис.8г). Для того чтобы трещины скалывания сошлись, между пуансоном и матрицей необходим зазор вполне определенной величины, зависящий от свойств, состояния и толщины разделяемого материала.

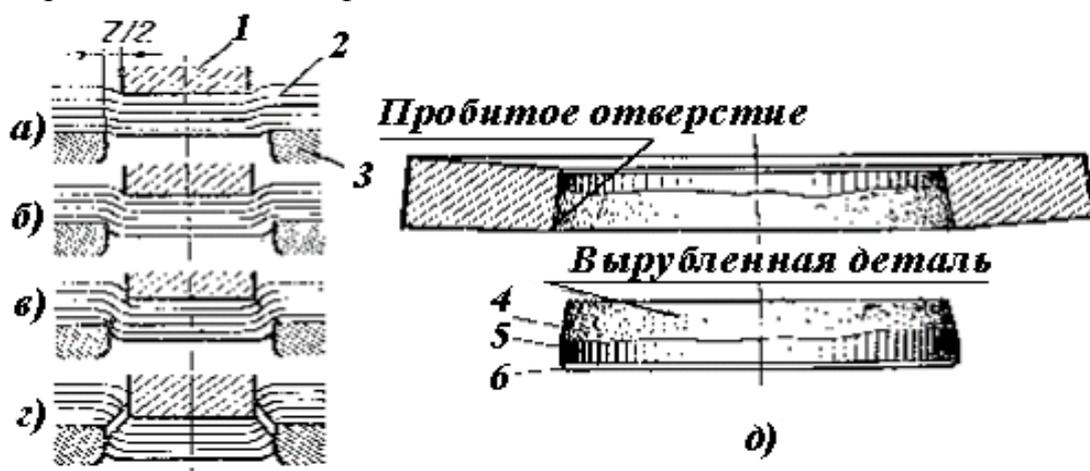


Рис.8. Стадии разделения металла

Разрез и контуры вырубленной детали и пробитого отверстия показаны на рис.8д. На поверхности детали имеются три зоны, соответствующие указанным стадиям разделения металла: 6 – зона начального смятия; 5 – зона резания (блестящий цилиндрический пояс) и 4 – зона образования трещин скалывания (шероховатая коническая поверхность, заканчивающаяся небольшой поверхностью смятия). На поверхности пробитого отверстия имеются те же зоны, расположенные в обратном порядке.

Зазор между пуансоном и матрицей оказывает большое влияние на величину усилия, износостойкость штампов и особенно на качество и точность получаемых деталей. При малом зазоре трещины скалывания не соединяются, а идут параллельно и металл между ними разрывается с образованием в верхней части детали второго блестящего пояса с заусенцами и неровным краем. При большом – происходит затягивание в зазор металла, его отрыв и образование на детали заусенцев и рваных краев. При неравномерном зазоре не только образуются заусенцы, но растет усилие, быстро изнашиваются режущие кромки.

К разделительным операциям относятся отрезка, разрезка, вырубка, пробивка, обрезка, надрезка, проколка и зачистка (рис.9). При обычной вырубке и пробивке достигается точность 8–11-го кв. Она зависит от вида материала, способа резки, конструкции штампа, его состояния, величины зазора между пуансоном и матрицей, характера его распределения по контуру и др.

факторов. Для повышения точности применяют штампы с массивными направляющими колонками и с прижимом материала.

При раскрое полосы для деталей, изготавливаемых гибкой в двух направлениях с малыми радиусами кривизны, линии изгиба следует располагать под углом  $45^\circ$  в направлении волокон материала независимо от рациональности раскроя. При вырубке заготовок для деталей, изготавливаемых гибкой в одном направлении, угол между линией изгиба и направлением волокон был менее  $30^\circ$ . Ширина полосы рассчитывается с учетом перемычек (рис.7а), выбираемых для каждого материала по специальным таблицам.

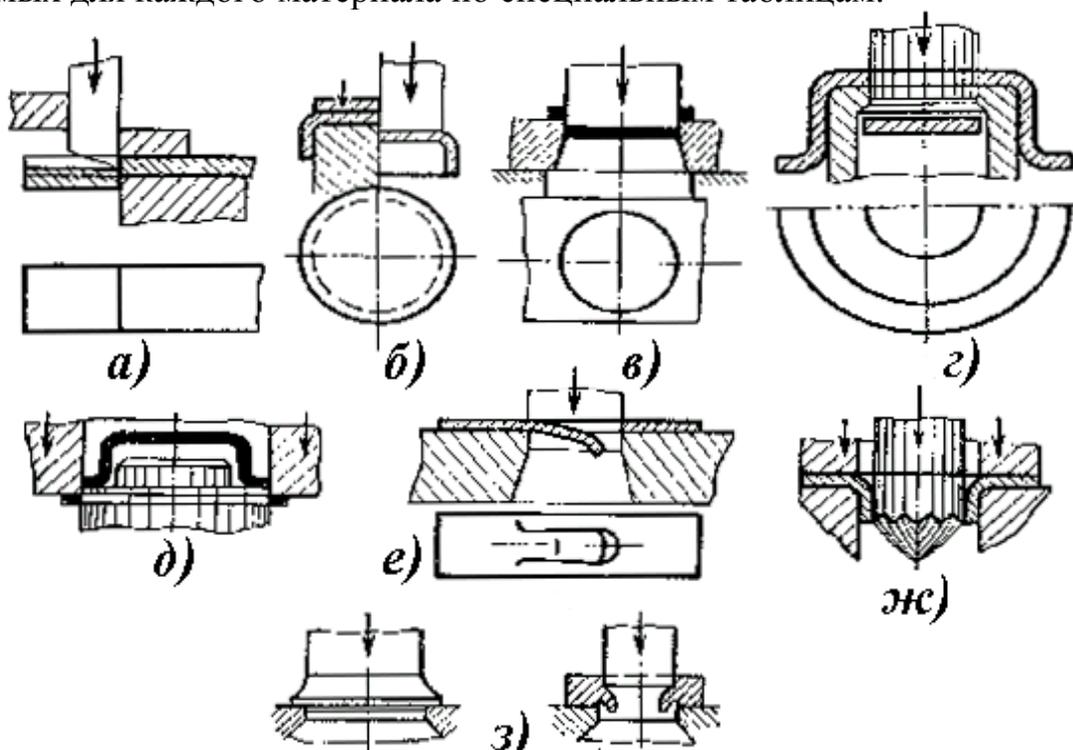


Рис.9. Разделительные операции: отрезка (а), разрезка (б), вырубка (в), пробивка (г), обрезка (д), надрезка (е), проколка (ж) и зачистка (з)

При вырубке полосы с поворотом ширину перемычек следует увеличить на 50%. Ширину кромки, обрезаемую шаговым ножом, следует принимать равной значению перемычки  $b$  как для прямоугольных деталей. При необходимости в отдельных конструкциях штампов допускается принимать ширину перемычек меньше табличных значений.

После того как установлены расположение деталей и величина перемычки, определяют ширину полос. Ее номинальное значение  $B$  и просвет между направляющими штампа  $A$  производится по формулам:

- при работе на штампе с боковым прижимом полос

$$B = D + 2b + \Delta_n \text{ и } A = B + Z,$$

- при работе на штампе без бокового прижима полос

$$B = D + 2(b + \Delta_n) + Z \text{ и } A = B + Z,$$

где  $D$  – размер вырубаемой детали (в направлении перпендикулярном подаче);  $b$  – наименьшая величина боковой перемычки;  $Z$  – гарантийный зазор между направляющими и наибольшей шириной полосы;  $\Delta_n$  – односторонний (минусовый) припуск на ширину полосы.

Допуски на ширину стандартных полос и лент принимаются по ГОСТам для данного материала. Допуски на ширину полос, нарезанных на гильотинных ножницах приведены в справочной литературе.

Величина гарантийного зазора  $Z$  для однорядного раскроя при штамповке без бокового прижима полосы: 0,5 – 1,0 мм при ширине полосы до 100 мм и 1,0 – 1,5 мм при ширине свыше 100 мм. При штамповке с боковым прижимом  $Z$  соответственно равен 1,5 – 2,0 и 2 – 3 мм.

**В ы р у б к а з а г о т о в о к п е ч а т н ы х п л а т.** В производстве печатных плат на штампах вырубают контур платы, пробивают отверстия для её крепления и т.п. Для уменьшения расслоения и повышения качества среза предусматривают прижим заготовки по периметру вырубki на площадке шириной  $(2 - 3) S$ . Давление прижима должно быть не менее 150 – 200 МПа. Штамповку печатных плат производит без подогрева, располагая печатные проводники со стороны матрицы. Минимальное расстояние между пробиваемыми отверстиями равно 1,5 – 2 мм. Пробивку без прижима выполняют для отверстий диаметром до 3 мм незакрепленным пуансоном. Наименьший диаметр отверстия при такой пробивке 1,3 мм, а наименьшее расстояние между отверстиями равно 2,5 мм.

У с и л и е в ы р у б к и ( п р о б и в к и ) :  $P = K \cdot \tau_{cp} \cdot L \cdot S$ ,

где  $K = 1,25 - 3$  – коэффициент, учитывающий состояние режущих кромок пуансона и матрицы, неравномерность толщины материала и т.п.;  $L$  – длина линии среза или периметр вырезаемого контура, мм;  $S$  – толщина заготовки, мм,  $\tau_{cp}$  – сопротивление материала срезу, МПа.

Усилие снятия детали с пуансона:  $P_{CH} = P \cdot K_{CH}$ . Усилие проталкивания детали через матрицу  $P_{ПР} = P \cdot K_{ПР}$ , где  $K_{CH}$  и  $K_{ПР}$  – коэффициенты, зависящие от свойств материала и его толщины; ориентировочно  $K_{CH} = K_{ПР} = 0,02-0,06$ .

Усилие прессы расчетное :  $P_n = 1,25(P + P_{CH} + P_{ПР})$

#### 5.2.4. Формообразующие операции

Основные виды формообразующих операций холодной листовой штамповки приведены на рис.10.

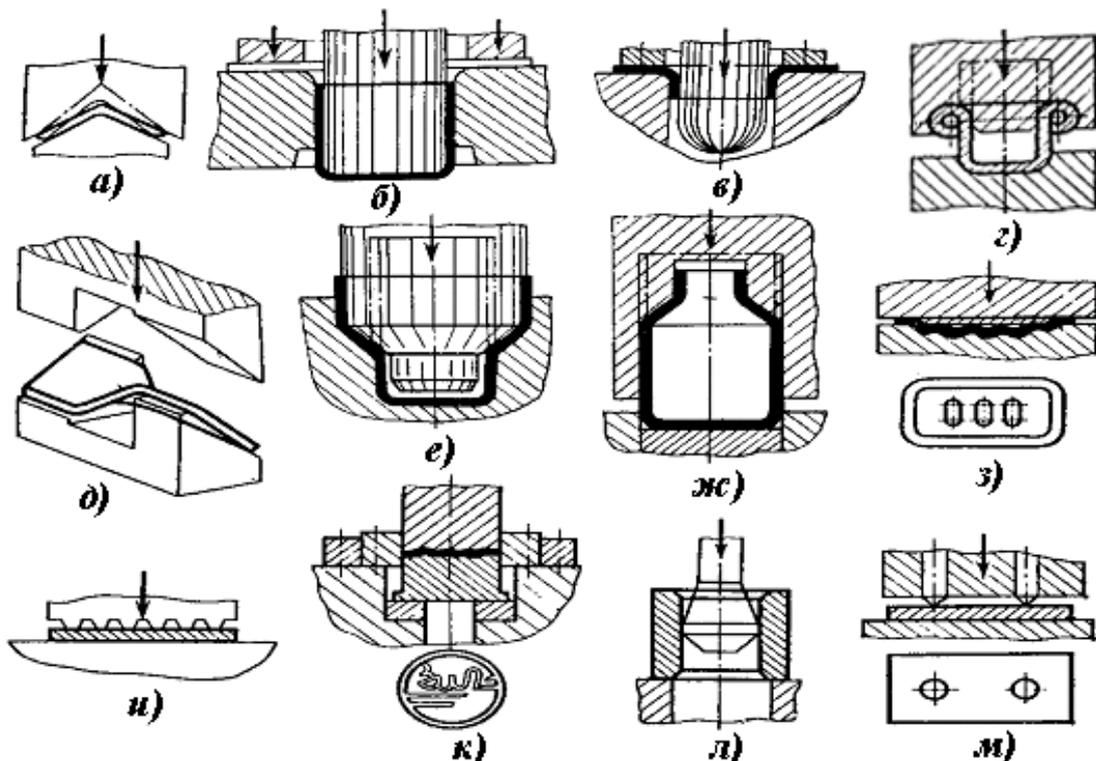


Рис.10. Формообразующие операции листовой штамповки: гибка (а), вытяжка (б), отбортовка (в), закатка (г), скручивание (д), раздача (е), обжим (ж), формовка (з), правка (и), чеканка (к), калибровка (л), кернение (м)

**В ы т я ж к а.** Размер плоской или цилиндрической заготовки под вытяжку без утонения рассчитывается по формуле  $D_3 = 1,127\sqrt{F}$ , где  $F$  – площадь детали, мм<sup>2</sup>. Диаметр  $D_3$  определяется при толщине стенок детали < 2 мм по наружному или внутреннему контуру и при толщине стенок > 2 мм – по средней линии контура. Площадь детали  $F$  вычисляется путем разбивки её контура на узкие пояса, образующие которых считаются прямыми. В случае вытяжки с последующей обрезкой к номинальному размеру детали по высоте или по радиусу фланца добавляется припуск на обрезку, величина которого зависит от отношения  $d/h$  или  $d_{фл}/h$ , где  $d$  и  $d_{фл}$  – диаметр детали и фланца после вытяжки соответственно,  $h$  – высота вытянутой детали.

Число операций вытяжки (рис.11) определяется допустимым для каждой операции коэффициентом вытяжки, который равен отношению диаметра  $d$ , полученного вытяжкой, к диаметру заготовки  $D_3$ :

$m_i = d_i / D_{i-1}$ ;  $m = m_1 * m_2 * m_3 \dots = d / D_3$ ;  $i = 1, 2, 3, \dots, n$ , где  $n$  – число операций вытяжки.

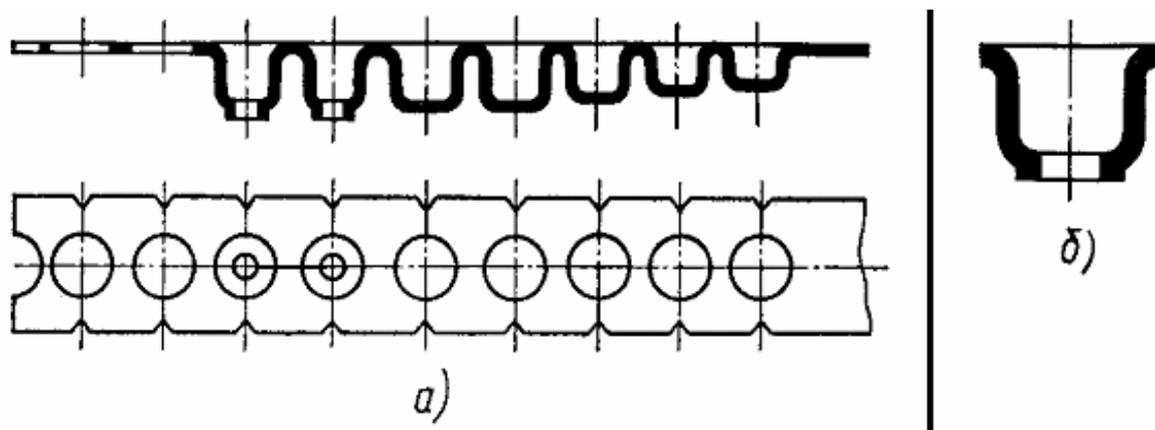


Рис.11. Последовательная многооперационная вытяжка в ленте: последовательность переходов (а) и готовое изделие (б)

Значения коэффициентов многооперационной вытяжки  $m_i$  приведены в таблице.

Материал	1-я операция	2-я и последующие
Сталь 08; сталь 10; Л63	0,50 - 0,53	0,72 - 0,76
Сплав АМц-М; Д16АМ	0,52 - 0,56	0,75 - 0,78
Сплав Д16Т	0,68 - 0,70	0,82 - 0,85
Сплав В95АТ	0,70- 0,72	0,65 - 0,68
Стали легированные	0,50 - 0,70	0,75 - 0,64
Жесть белая	0,58 - 0,65	0,80 - 0,85
Цинк	0,65 - 0,70	0,85 - 0,90

Примечание: для деталей с отношением  $100 \cdot S/D_3 < 1$  принимают большие значения, для деталей с  $100 \cdot S/D_3 > 1$  - меньшие.

Если деталь имеет коническую форму, то сначала вытягивают цилиндр, а затем конус. При этом коэффициент вытяжки принимают на 10 – 15% больше, чем при вытяжке по цилиндру. Число операций при вытяжке ступенчатых деталей определяется приближенным методом в зависимости от отношения высоты к диаметру наименьшей ступени  $h/d$  и уточняется опытным путём. В случае применения промежуточного отжига, значение коэффициента вытяжки следует брать меньшим. Если отношение  $100 \cdot S/D_3 > 1,14$ , то вытяжка осуществляется с прижимом.

Вытяжка цилиндрических деталей с утонением (рис.12). Диаметр заготовки для вытяжки деталей с утонением стенок определяют исходя из объема детали. Объем заготовки  $V_3$  принимают на 15 – 20% больше объема детали, подсчитанного по номинальным размерам с учетом припуска на отрезку и угар при отжиге. Соответственно

$$D_3 = 1,13 \cdot \sqrt{V_3 / S}.$$

Для определения числа операций и размеров заготовок промежуточных вытяжек необходимо по соответствующим формулам вычислить: толщину стенок по операциям; диаметр первой вытяжки; высоту детали по операциям.

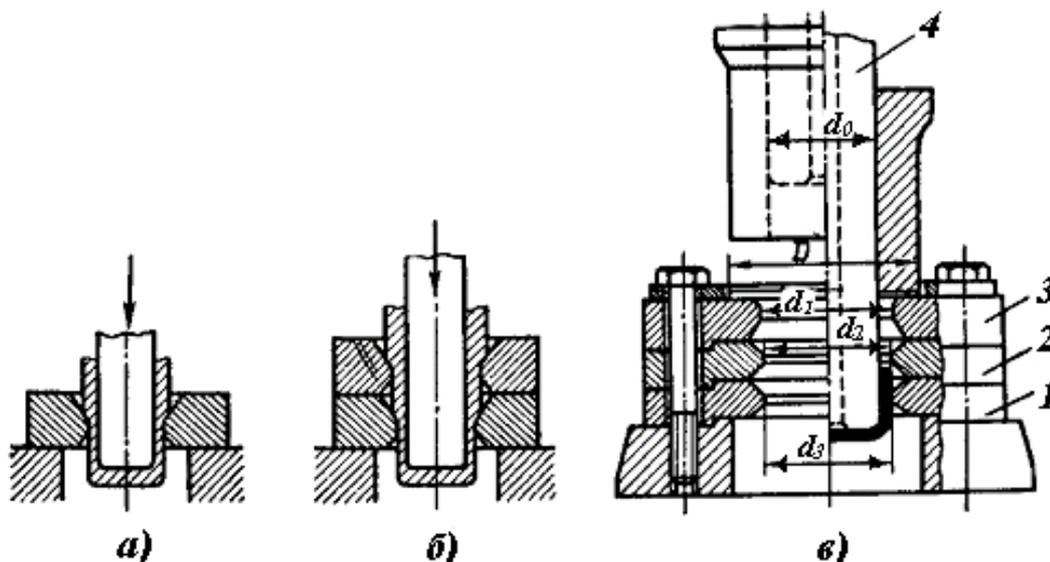


Рис.12. Вытяжка с утонением: через одну матрицу (а), через несколько матриц (б), схема штампа (в) – 1-3 – матрицы, 4 – пуансон, D – диаметр заготовки,  $d_1, d_2, d_3$  – диаметры матриц,  $d_0$  – диаметр пуансона

### Коэффициенты вытяжки с утонением (многооперационной)

Материал	1-я операция	Последующие
Латунь	0,7	0,55
Алюминий	0,75	0,60
Сталь (глубокая вытяжка)	0,75	0,65
Сталь (средняя вытяжка)	0,85	0,75

У с и л и е п е р в о й и п о с л е д у ю щ и х о п е р а ц и я м в ы т я ж к и б е з у т о н е н и я

$$P_i = \varphi_i \sigma (1/m_i - 1) F \chi,$$

где  $\varphi_i = (1,05 - 1,1)$  – для вытяжки с предварительным отжигом;  $\varphi_i = (2 - m_i / m_j)$  – для вытяжки без отжига;  $\chi$  – коэффициент рассматриваемой операции;  $\chi = 1,4 - 1,6$  – для вытяжки с прижимом;  $\chi = 1,2 - 1,3$  для вытяжки без прижима;  $F$  – площадь поперечного сечения второй вытяжки,  $\text{мм}^2$ .

У с и л и е п р и ж и м а:  $Q = q F$ , где  $q$  – давление ( $q = 2 - 3$  МПа);  $F$  – площадь части заготовки, находящейся под прижимом.

$$\text{Для первой вытяжки: } F_1 = \frac{\pi}{4} [D_3^2 - (d_1 + 2R_m)^2]$$

$$\text{Для последующих: } F_i = \frac{\pi}{4} [D_{i-1}^2 - (d_i + 2R_m)^2],$$

где  $R_m$  – радиус закругления матрицы у прижатой части, мм.

У с и л и е п р и в ы т я ж к е с у т о н е н и е м

$$P = 1,25 \pi (d_{Bi} + S_i) S_i (1 - \varphi_i) \sigma_B \lambda,$$

где  $\lambda$  – коэффициент, учитывающий упрочнение металла и потери на трение,  $\lambda = 5$  для вытяжки через одну матрицу,  $\lambda = 6,5$  для двукратной вытяжки за один рабочий ход ползуна.

Г и б к а (рис.13). Определяющим для этой операции является радиус кривизны  $r$ . При малых радиусах гибки происходит разрыв наружных волокон материала. Значение радиуса кривизны зависит от механических свойств металла, толщины заготовки, направления линии изгиба относительно направления прокатки (рис.14а), угла изгиба  $\alpha$  и др. Длина развертки (заготовки) изгибаемой детали  $L_3$  определяется по формуле:

$$L_3 = \sum_{i=1}^n l_i + \sum_{i=1}^n \frac{\pi * d_i}{180} * R_n,$$

где  $\sum_{i=1}^n l_i$  – сумма прямых участков, мм;  $\alpha$  – угол дуги каждого участка изгиба на заготовке, град;  $R_n$  – радиус нейтральной линии детали, мм.

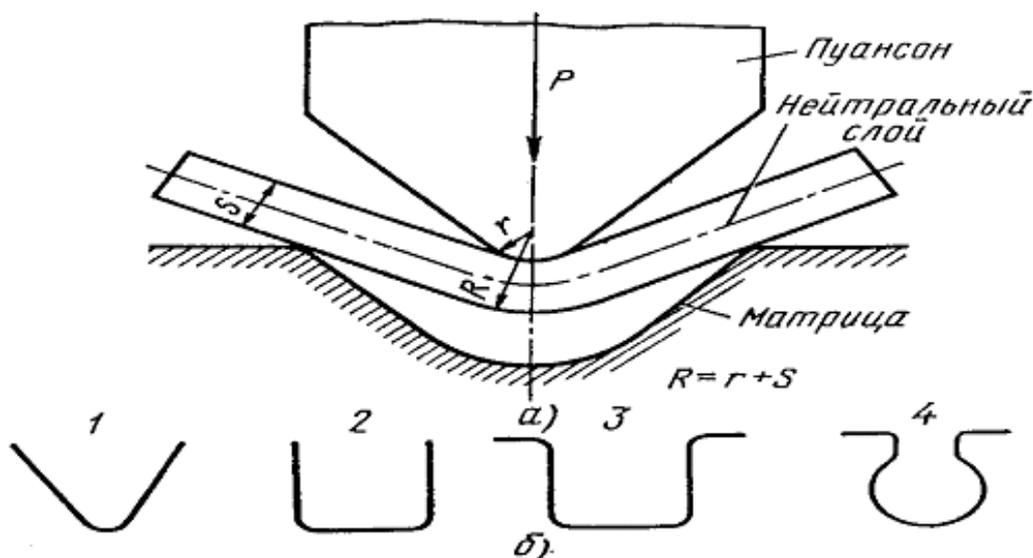


Рис.13. Операция гибки: схема процесса (а), виды гибки (б) – одноугловая V-образная, двухугловая U-образная, четырехугловая, с круглым элементом

Пластическая деформация при гибке сопровождается упругой деформацией, что должно учитываться углом пружинения  $\beta$ , (рис.14б).

Значение угла пружинения зависит от механических свойств металла, формы детали, радиуса кривизны и способа гибки. Чем больше предел прочности  $\sigma_b$ , больше  $r/S$  и меньше  $S$ , тем больше угол пружинения. При V-образной гибке пружинение меньше, чем при U-образной; при свободной – пружинение больше, чем при гибке с чеканкой и калибровкой.

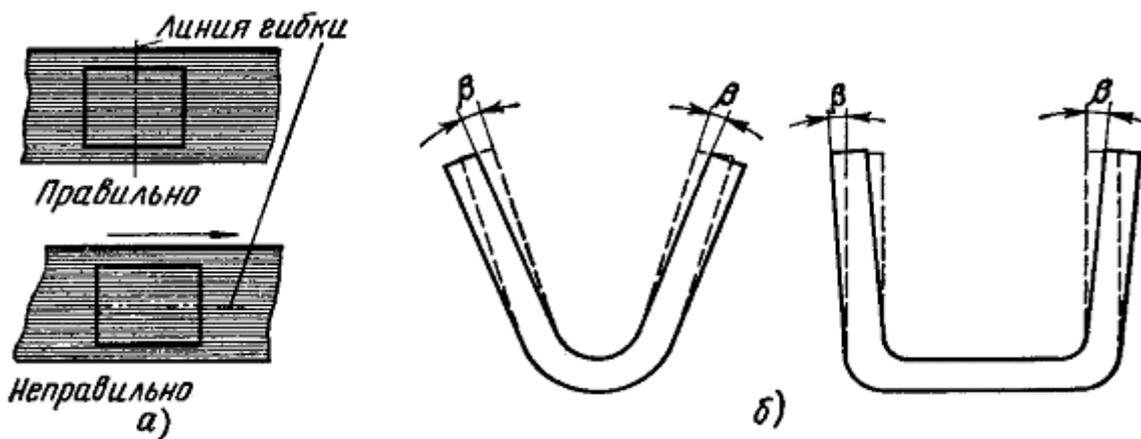


Рис.14. Расположение линий гибки (а) – стрелкой показано направление волокон металла и пружинение (б),  $\beta$  – угол пружинения

Для компенсации пружинения и получения требуемых размеров детали применяют следующие методы (рис.15):

- гибку с утонением боковых стенок (рис.15а);
- использование матрицы или пуансона со скосом под углом пружинения (рис.15б,в);
- гибку с калибровкой (рис.15г) (после гибки по линиигиба пуансоном наносится удар);
- в случае, когда местное ослабление детали допустимо, толщину заготовки уменьшают подчеканкой примерно на 50%.

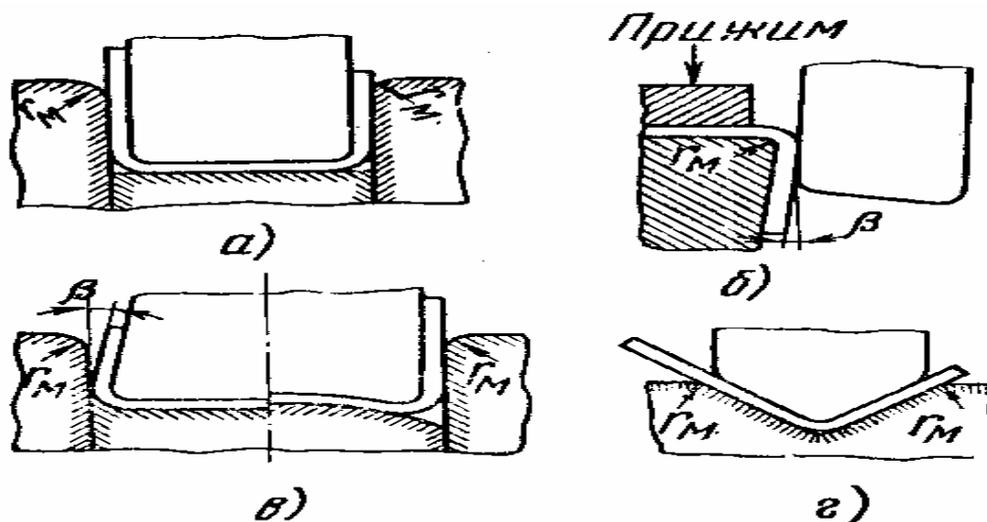


Рис.15. Методы компенсации пружинения ( $r_m$  – радиус закругления матрицы)

Среднее значение углов пружинения при гибке V-образных деталей:

$$\operatorname{tg}\beta = 0,375 \frac{l}{(1-x)S} \cdot \frac{\sigma_T}{E},$$

где  $l$  - расстояние между опорами матрицы, мм;  $x$  - коэффициент, определяющий смещение нейтрального слоя деформации;  $\sigma_T$  – предел текучести металла;  $E$  – модуль упругости, МПа.

При гибке с подчеканкой углы пружинения (при  $V$ -образной форме деталей), полученные расчетным путем, умножаются на 0,75 – 0,8.

Средние значения углов пружинения при гибке П-образных деталей:

$$\operatorname{tg}\beta = 0,75 \frac{l_1}{(1-x)S} \cdot \frac{\sigma_T}{E};$$

$$l_1 = r_m + r_n - 1,25 \cdot S,$$

где  $l_1$  - плечо гибки, мм;  $r_m$  - радиус матрицы, мм;  $r_n$  - радиус пуансона, мм.

Значение коэффициента  $x$  определяется соответствующим отношением радиуса кривизны  $r$  к толщине стенки  $S$ .

Средние значения углов пружинения при гибке на  $90^\circ$  без калибровки деталей из различных металлов приведены в таблице.

Материал	Толщина заготовок $S$ , мм	Отношение внутр. радиуса деталей к толщине $r/S$		
		$r/S < 1$	$r/S = 1-5$	$r/S > 5$
Мягкая сталь, $\sigma_B = 320$ МПа; мягкая латунь, $\sigma_B = 220$ МПа; алюминий	До 0,8	4	5	6
	0,8-2	2	5	4
	свыше 2	0	1	2
Сталь средней твердости, $\sigma_B = 400$ МПа; твердая латунь, $\sigma_B = 350$ МПа	до 0,8	5	6	8
	0,8-2	2	3	5
	свыше 2	0	1	3
Твёрдая сталь, $\sigma_B = 600$ МПа	до 0,8	7	9	12,
	0,8-2	4	5	7
	свыше 2	2	3	5

При гибке с подчеканкой углы пружинения умножаются на 0,75-0,8.

$$\text{У с и л и е г и б к и} \quad P = K_r \cdot L_r \cdot S \cdot \sigma_B,$$

где  $L_r$  – суммарная длина линии сгиба, мм;  $K_r$  – коэффициент, зависящий от схемы гибки,  $K_r = 0,2$  для одноугловой и  $K_r = 0,6$  для двухугловой гибки.

Если гибка выполняется с прижимом, усилие прижима

$$P_{\text{ПП}} = (0,25-0,3)P.$$

Усилие одновременной гибки и калибровки

$$P = q F_K,$$

где  $q$  – давление, МПа;  $F_K$  – проекция площади соприкосновения калибруемого изделия и пуансона, мм;  $q = 15 - 30$  для алюминия,  $q = 30 - 50$  для латуни,  $q = 40 - 80$  для стали, меньшие значения принимают при толщине детали до 1 мм, большие – при толщине детали 2 – 3 мм.

### 5.2.5. Выбор штампа

При массовом и крупносерийном производстве снижение расхода материала и трудоемкости изготовления достигается не только приданием детали

более совершенных форм, но и в результате применения сложных штампов и устройств для механизации и автоматизации ТП. С уменьшением масштаба производства все большая доля стоимости изготовления детали приходится на стоимость штампа. В таких случаях более выгодно применять упрощенные и универсальные штампы даже при повышенном расходе материала и увеличении трудоемкости. При изготовлении сложных деталей может оказаться целесообразным совмещать несколько операций в одном штампе. Очень мелкие и крупные детали рекомендуется изготавливать в комбинированных штампах, дающих полностью законченное изделие.

В большинстве остальных случаев решающую роль при выборе ТП и типа штампа имеют вопросы экономической целесообразности.

Наибольшие затруднения возникают при выборе типа штампа совмещенного или последовательного действия. Оба типа штампов, как и сами способы штамповки, имеют достоинства и недостатки, и определенные ограничения как технологического, так и экономического характера. В метод. указаниях по КП приведены характеристики штампов и общие указания по их выбору в крупносерийном и массовом производстве.

Возможность применения последовательной многорядной штамповки мелких деталей определяется главным образом масштабами производства и экономической целесообразностью. Обычно рост стоимости штампов меньше, чем кратность штамповки.

В результате решения указанных технологических вопросов выявляется технологическая схема штампа, которая должна отражать:

- тип штампа в соответствии с характером производимых деформаций;
- количество одновременно выполняемых операций или переходов (совмещённость);
- способ выполнения операций во времени (последовательно или параллельно);
- количество одновременно штампуемых деталей;
- схему расположения рабочих частей штампа;
- способ подачи и фиксации материала или заготовки в штампе;
- способ удаления деталей или отходов.

Технологическая схема штампа является заданием для его конструирования.

#### 5.2.6. Выбор оборудования

Выбор оборудования для различных операций холодной штамповки может быть произведен, если известны:

- вид операции и количество деталей в партии;
- усилие, необходимое для выполнения данной операции;
- величина хода пресса и мощность привода;
- закрытая высота пресса, размер стола и др.

Выбору должны предшествовать соответствующие расчеты.

Для вытяжных работ часто применяют прессы двойного действия. Фрикционные прессы служат для правки и некоторых операций объемной

штамповки. Для мелких гибочных работ иногда пользуются ручными или электромагнитными прессами.

В мелкосерийном производстве рекомендуется применять универсальные прессы. В крупносерийном производстве, где за каждым рабочим местом закреплены определенные детали, универсальные прессы снабжаются автоматическими устройствами для подачи заготовок, удаления и стапелирования деталей и для удаления отходов.

В массовом производстве, наряду с универсальным, находит применение и оборудованное специальное. При этом степень оснащенности производства различными вспомогательными устройствами, повышающими производительность труда, резко возрастает.

Усилие, создаваемое прессом  $P_{np}$ , должно быть несколько больше усилия, необходимого для выполнения операции  $P_{тр}$

$$P_{np} = k_{np} P_{тр}$$

Величина коэффициента запаса  $k_{np}$  определяется характером процесса. Так, при работе на единичных ударах  $k_{np} = 1,2 - 1,3$ , а для автоматического режима  $k_{np} = 1,5 - 1,7$ .

После выбора пресса по усилию необходимо проверить его по мощности. В случае перегрузки по мощности происходит затормаживание и резкое падение числа ходов пресса, что свидетельствует о перегрузке мотора.

Величина хода ползуна при вытяжных и обрезающих операциях должна быть в 2,2 – 2,5 раза больше высоты детали. Соблюдение этого условия облегчает удаление детали и отходов из штампа.

Для вырубных и пробивных работ ход ползуна должен на 2 – 3 мм превышать просвет между матрицей и съемником.

Закрытая высота пресса – расстояние от подштамповой плиты до ползуна в нижнем его положении при наибольшей величине хода и наименьшей длине шатуна – должна соответствовать закрытой высоте устанавливаемого штампа. Габариты стола и ползуна пресса должны обеспечивать установку и закрепление штампов и подачу заготовок, а отверстие в столе пресса – свободное проваливание штампуемых изделий.

#### 5.2.7. Техническое нормирование операций штамповки

Техническая норма времени представляет собой время, необходимое на обработку детали в соответствии с эксплуатационными возможностями пресса при правильной организации работ и рациональном использовании рабочей силы. Она является одним из наиболее важных факторов, влияющих на выбор оптимального варианта ТП.

При техническом нормировании определяют:

- норму штучного времени  $T_{шт}$ , необходимого для выполнения данной операции;
- норму подготовительно-заключительного времени на партию или смену  $T_{пз}$ . В последнюю входит время на ознакомление с заданием, на подготовку рабочего места (без перестановки штампов), на сдачу работы и приве-

дение пресса в порядок. Норма  $T_{ПЗ}$  учитывается при составлении калькуляции и определении себестоимости детали.

Полная норма штучного времени  $T_{шт}$  (мин) состоит из следующих элементов:

$$T_{шт} = t_o + t_e + t_{об} + t_n$$

где  $t_o$  – основное (технологическое или машинное) время;  $t_e$  – вспомогательное время, т.е. время, затрачиваемое на установку и удаление деталей, на управление прессом;  $t_{об}$  – время обслуживания рабочего места, которое затрачивается на чистку, смазку, уборку отходов и др.,  $t_n$  – время перерывов на отдых и личные надобности.

Основное и вспомогательное время составляет оперативное время, т.е.  $T_{он} = t_o + t_e$ . Это время непосредственно затрачивается на выполнение данной операции.

Сумма  $T_3 = t_{об} + t_n$  считается дополнительным, или прибавочным временем, которое обычно берется в процентном отношении от  $T_{он}$ .

Для калькуляции и определения себестоимости изделия применяют штучно-калькуляционное время  $T_{шк}$ , приходящееся на одну деталь.

$$T_k = T_{шт} + \frac{1}{m} T_{ПЗ}, \quad \text{где } m - \text{количество деталей в партии.}$$

Основное время  $t_o$  определяется в зависимости от числа ходов пресса в минуту  $n$ :

при автоматической работе пресса по формуле:  $t_o = \frac{1}{n}$ ,

при отдельных включениях пресса:  $t_o = \frac{k}{n}$ ,

где  $k = 1,0 - 1,5$  – берется в зависимости от числа ходов пресса, меньшие значения при  $n = 30 - 80$  и большие при  $n = 80 - 150$  ход/мин.

Вспомогательное время  $t_e$  принимают из норм, установленных на основании хронометража. Дополнительное время  $T_3$  от  $T_{он}$  составляет 6 % для прессов усилием 1000 – 3000 кН и 14 % для прессов усилием свыше 3000 кН. Информация по техническому нормированию операций штамповки представлена в справочной литературе.

# Обработка резанием

## 1. Общие положения

Обработка резанием основана на срезании лезвийным или абразивным режущим инструментом с поверхности заготовки слоя металла (стружки) для получения требуемой формы, размеров, взаиморасположения и шероховатости поверхности детали. Срезаемый с заготовки слой называют припуском.

Механическая обработка может быть слесарной (припуск удаляется вручную) и механической (на металлорежущих станках). Рабочие органы станка обеспечивают относительное движение заготовки и инструмента, движения резания. Их должно быть не менее двух: главное и подачи. За главное (с максимальной скоростью) принимают движение, определяющее скорость деформирования и отделения стружки. Движение подачи обеспечивает непрерывность врезания инструмента в заготовку.

Эти движения могут быть непрерывными и прерывистыми, вращательными, поступательными, возвратно-поступательными. Скорость главного движения резания обозначают  $v$ , подачи —  $v_s$ .

Кроме движения резания должны быть установочные движения (обеспечивают взаимное положение инструмента и заготовки) и вспомогательные (транспортирование заготовки, движение ее и инструмента, переключение скоростей и др.).

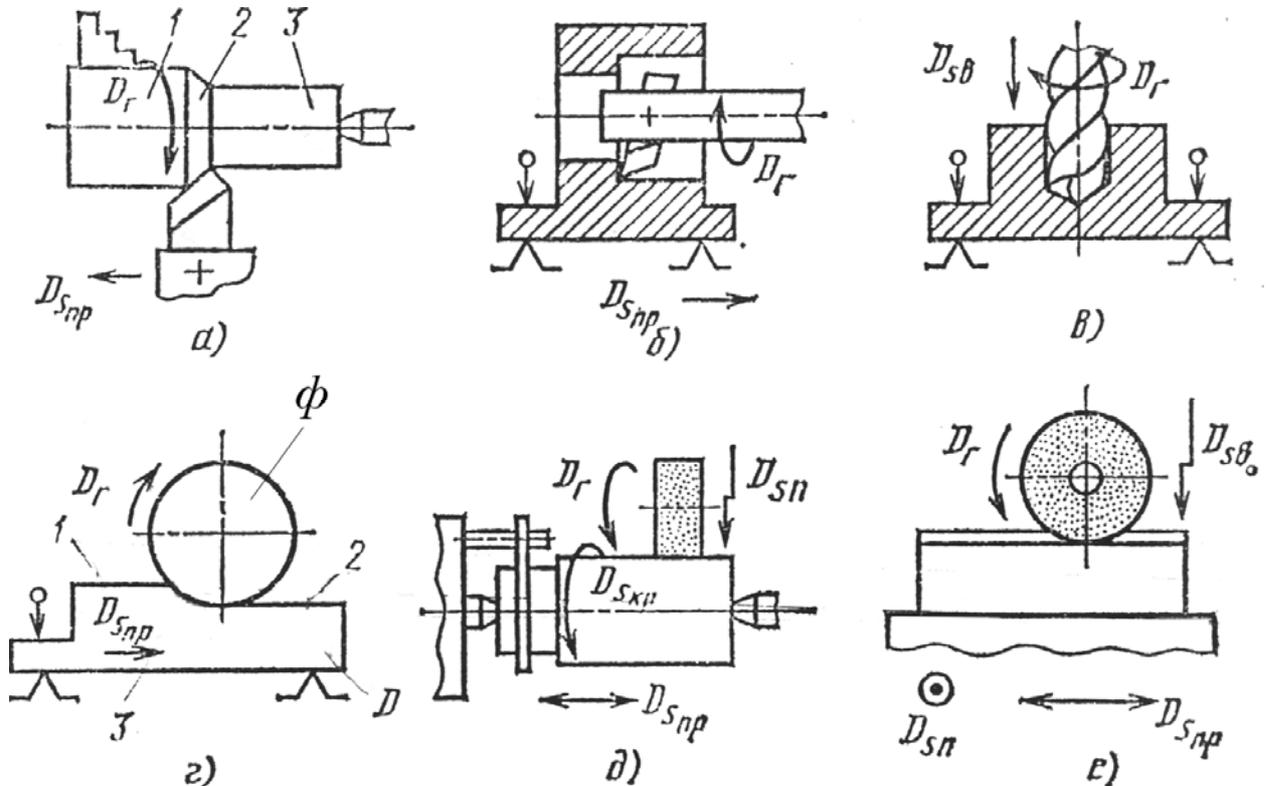


Рис.1. Элементы схем обработки и схемы обработки точением (а), растачиванием (б), сверлением (в), фрезированием (г), шлифованием на кругло- (д) и плоскошлифовальном (е) станках;  $D_r$  - главное движение резания;  $D_{snp}$

- продольное движение подачи;  $D_{SV}$  - вертикальное движение подачи;  $D_{СП}$  - поперечное движение подачи;  $D_{СКР}$  - круговое движение подачи.

Формообразование поверхности представляется схемой обработки. На ней условно изображают заготовку, ее установку и закрепление на станке, положение инструмента и движения резания (рис.1). Инструмент показывают в положении окончания обработки. Закрепление заготовки показывают конструктивно или условными знаками (опор и зажимных элементов). На заготовке различают (рис.1,а): обрабатываемую (с нее срезается припуск) и обработанную (с нее припуск срезан) поверхности и поверхность резания, образуемую главной режущей кромкой инструмента.

Методы формообразования поверхностей. Форму детали определяет сочетание различных поверхностей. Для облегчения обработки надо использовать наиболее простые геометрические поверхности: плоские, круговые, шаровые, торовые и др. Они представляют собой совокупность последовательных положений следов образующей линии, которая движется по направляющей линии. При обработке эти линии обычно являются воображаемыми. Они воспроизводятся во времени комбинацией согласованных движений заготовки и инструмента. При обработке резанием используется 4 основных метода формообразования: копирования, следов, касания и обкатки (рис.2).

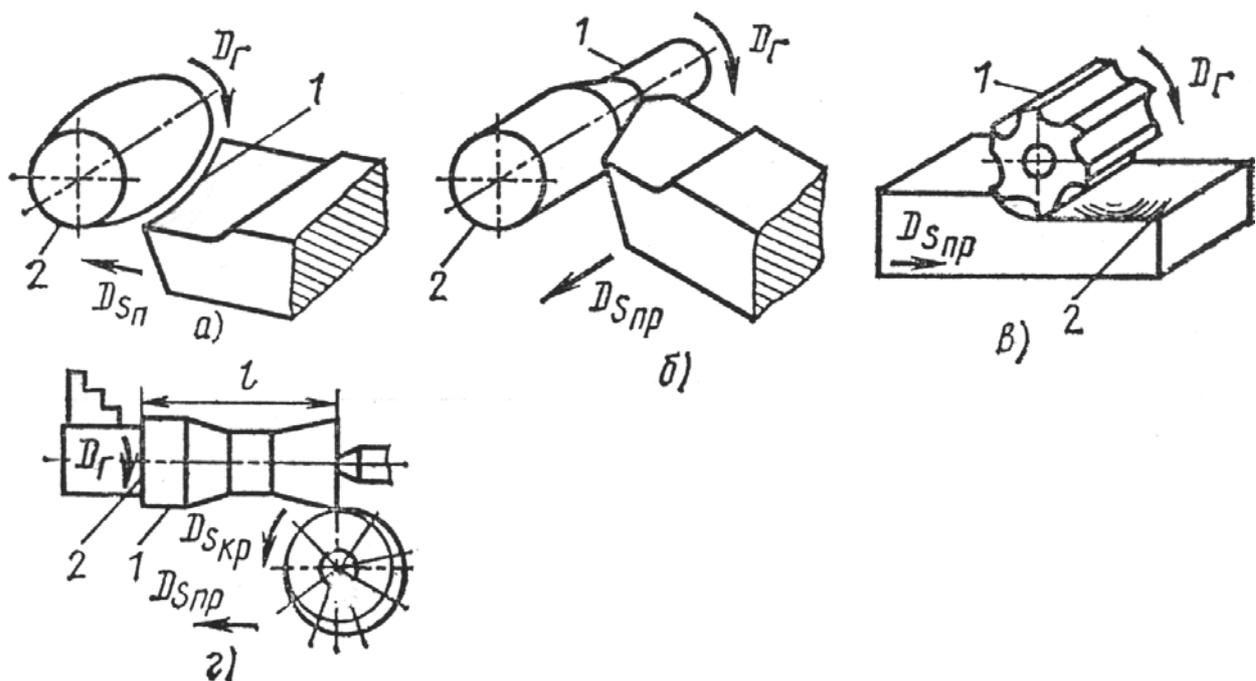


Рис.2. Схемы формообразования поверхностей по методу копирования (а), следов (б), касания (в) и обкатки (г)

При копировании режущая кромка инструмента является реальной образующей, а направляющая воспроизводится движением заготовки. Подача необходима для получения требуемого размера. Метод применяется при обработке фасонных поверхностей на токарных, фрезерных, шлифовальных, протяжных и др. станках.

В методе следов образующая линия является траекторией движения вершины главной режущей кромки инструмента, а направляющая — траекторией движения точки заготовки.

В методе касания образующей является режущая кромка инструмента, а направляющей — касательная к траекториям точек режущей кромки инструмента. Движение подачи является формообразующим.

В методе обкатки направляющая линия воспроизводится вращением заготовки, образующая — это огибающая ряда последовательных положений режущей кромки инструмента при согласовании скоростей главного движения и движения подачи (за время прохождения резцом расстояния  $l$  он делает полный оборот).

## 2. Режимы резания, параметры инструмента

Режим резания — это совокупность значений  $v$  главного движения резания,  $v$  движения подачи и глубины резания.

Скорость главного движения резания  $v$  — это скорость точки режущей кромки инструмента относительно заготовки в направлении главного движения резания в [мм/с] или [м/с].

Для точения (см. рис.3)  $v = \pi D_3 \cdot n \cdot 10^{-3}$ , где  $D_3$  — максимальный диаметр заготовки;  $n$  — частота ее вращения, [мин<sup>-1</sup>]. ( $v$  — [м/мин];  $D_3$  — [мм]).

При сверлении  $v(\text{м/мин}) = \pi D \cdot n \cdot 10^{-3}$ , где  $D$  — диаметр сверла, [мм].

При фрезеровании скоростью резания является окружная скорость фрезы, [м/мин].  $v = \pi D_\phi \cdot n \cdot 10^{-3}$ , где  $D_\phi$  — ее диаметр, [мм];  $n$  — частота вращения.

Скорость движения подачи  $v_s$  — это скорость точки режущей кромки инструмента относительно заготовки в направлении подачи. Измеряется в мм на оборот ([мм/об]) заготовки или инструмента, а при фрезеровании также и в [мм/зуб] (перемещение заготовки за время оборота фрезы на 1 зуб).



4, обращенную к обработанной поверхности; режущую кромку 3; вспомогательную режущую кромку 6 и вершину 5.

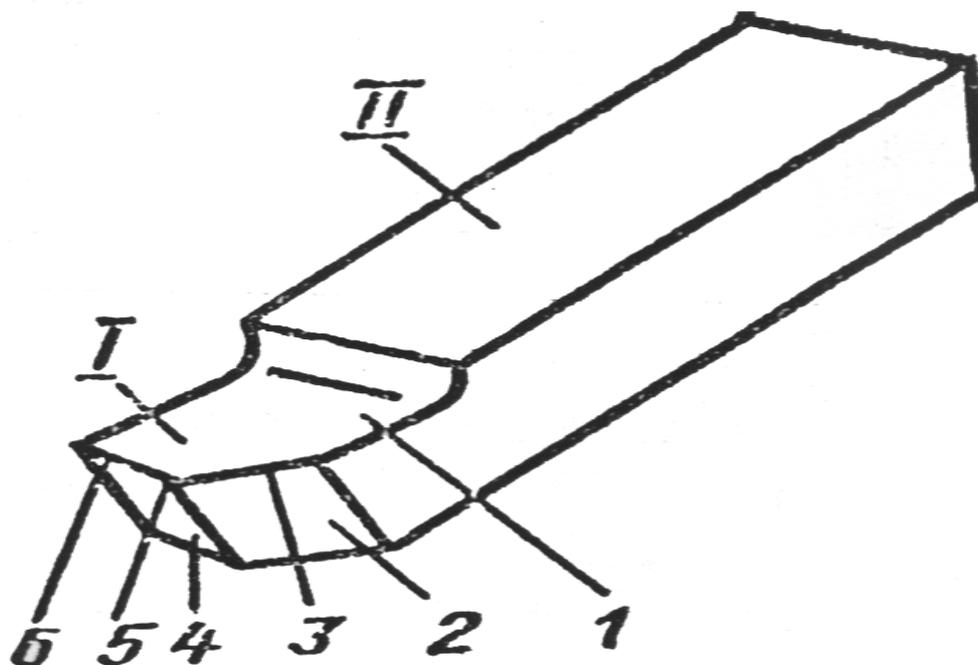


Рис.4. Элементы токарного резца

Инструмент затачивают по передней и задней поверхностям. Углы, под которыми располагаются поверхности режущей части, определяют в статической системе координат (рис.5). Здесь:  $P_{vc}$  — основная плоскость, проведенная через режущую кромку перпендикулярно скорости главного движения;  $P_{nc}$  — плоскость резания, касательная к режущей кромке и перпендикулярная  $P_{vc}$ ;  $P_{\tau c}$  — главная секущая плоскость, перпендикулярная линии пересечения  $P_{vc}$  и  $P_{nc}$ ;  $P_{\tau c1}$  — вспомогательная секущая плоскость перпендикулярна к проекции вспомогательной режущей кромки на плоскость  $P_{vc}$ . Считается, что ось резца перпендикулярна линии центров станка; вершина находится на линии центров; совершается только главное движение резания.

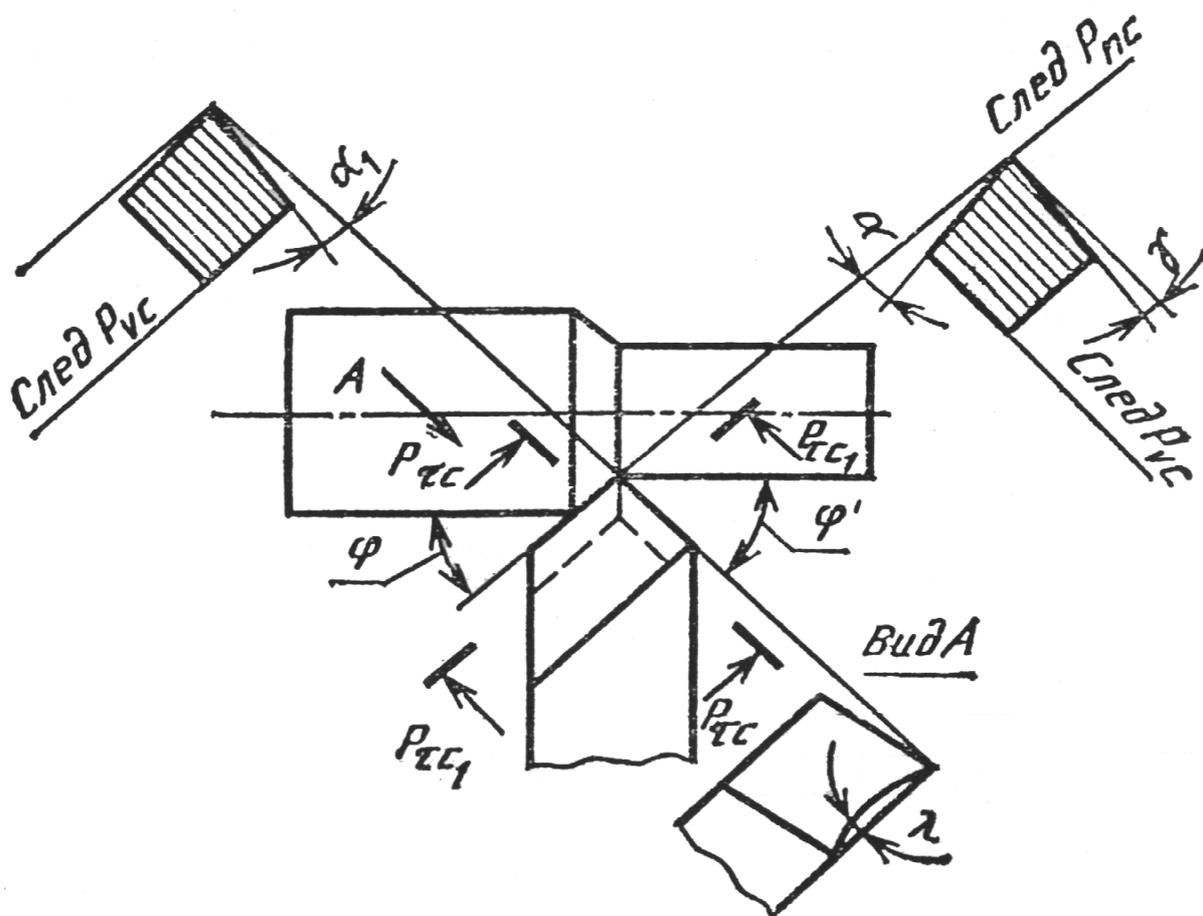


Рис.5. Геометрические параметры инструмента (на примере токарного прямого проходного резца)

Главный передний угол  $\gamma$  измеряют в плоскости  $P_{тс}$  между следом передней поверхности лезвия и следом плоскости, перпендикулярной к следу плоскости резания. С увеличением этого угла инструмент легче врезается в заготовку, снижаются силы резания и расход мощности, улучшаются условия схода стружки и качество обрабатываемой поверхности. Чрезмерное увеличение угла  $\gamma$  приводит к снижению прочности лезвия, увеличению износа и ухудшению условий теплоотвода.

Хрупкие и твердые металлы следует обрабатывать инструментом с малыми или даже отрицательными углами  $\gamma$ , мягкие и вязкие — с большими  $\gamma$ .

Главный задний угол  $\alpha$  измеряют в плоскости  $P_{тс}$  между следом плоскости резания  $P_{тс}$  и следом главной задней поверхности.  $\alpha$  уменьшает трение между главной задней поверхностью резца и поверхностью резания, то есть износ инструмента и силы резания. Но чем он больше, тем ниже прочность лезвия.  $\alpha$  назначают, исходя из упругой деформации и материала заготовки.

Вспомогательный задний угол  $\alpha_1$  измеряют в плоскости  $P_{тс1}$  между следом вспомогательной задней поверхности и следом плоскости, проходящей через вспомогательную режущую кромку перпендикулярно  $P_{тс}$ .  $\alpha_1$  уменьшает трение между этой поверхностью и поверхностью заготовки, то есть силы резания.

Главный угол в плане  $\varphi$  измеряют в плоскости  $P_c$  между  $P_{nc}$  и направлением подачи. С его уменьшением улучшается качество обработки ( $R_z$ ); уменьшается толщина и растет ширина срезаемого слоя (то есть увеличивается активная рабочая длина режущей кромки), сила и температура резания, приходящиеся на единицу  $l$ , уменьшаются, что снижает износ инструмента. Одновременно резко возрастает сила резания, направленная перпендикулярно оси заготовки, то есть ее деформирование.

Вспомогательный угол в плане  $\varphi^1$  — угол в плоскости  $P_{vc}$  между проекцией вспомогательной режущей кромки на  $P_{vc}$  и направлением, обратным движению подачи. С уменьшением  $\varphi^1$   $R_z$  снижается, увеличивается прочность вершины резца, уменьшается его износ, но растут силы резания.

Угол наклона режущей кромки  $\lambda$  — угол в плоскости  $P_{nc}$  между режущей кромкой и основной плоскостью  $P_{vc}$ . С его увеличением качество обработки ухудшается.

Углы  $\gamma$ ,  $\alpha$ ,  $\varphi$  и  $\varphi^1$  могут изменяться из-за погрешностей установки резца. Если вершина находится выше линии центров, то угол  $\gamma$  увеличивается, а  $\alpha$  уменьшается. Неперпендикулярность оси резца линии центров ведет к изменению углов  $\varphi$  и  $\varphi^1$ . Углы  $\gamma$  и  $\alpha$  существенно изменяются при работе с большими подачами и нарезании резьбы и становятся переменными величинами при обработке сложно профильных деталей. Это надо учитывать при изготовлении резцов.

### 3. Физическая сущность и силы резания

Резание — сложный процесс взаимодействия инструмента и заготовки, сопровождающийся рядом физических явлений: деформированием срезаемого слоя и наклоном обработанной поверхности, выделением тепла, износом инструмента и др. Оно происходит по следующей упрощенной схеме: в начальный момент (см. рис.6) движущийся резец создает а приповерхностном слое заготовки упругие деформации, которые, увеличиваясь, переходят в пластические. В плоскости, перпендикулярной направлению движения возникают нормальные напряжения  $\sigma_y$ , а в плоскости движения — касательные напряжения  $\tau_x$ .  $\tau_x$  максимальны в точке приложения силы  $A$  и уменьшаются при удалении от нее.  $\sigma_y$  действуют в прирезцовой области как снижающие, а затем переходят через  $O$  и становятся растягивающими. При таком распределении механических напряжений деформирование срезаемого слоя будет иметь сдвигающий характер. Сдвигаемые деформации происходят в зоне стружкообразования  $ABC$ , но условно можно считать, что сдвиг элементов стружки происходит по плоскости  $OO$ . Ее называют плоскостью сдвига, а угол, под которым она расположена к направлению движения резца, — углом сдвига ( $\Theta$ ).

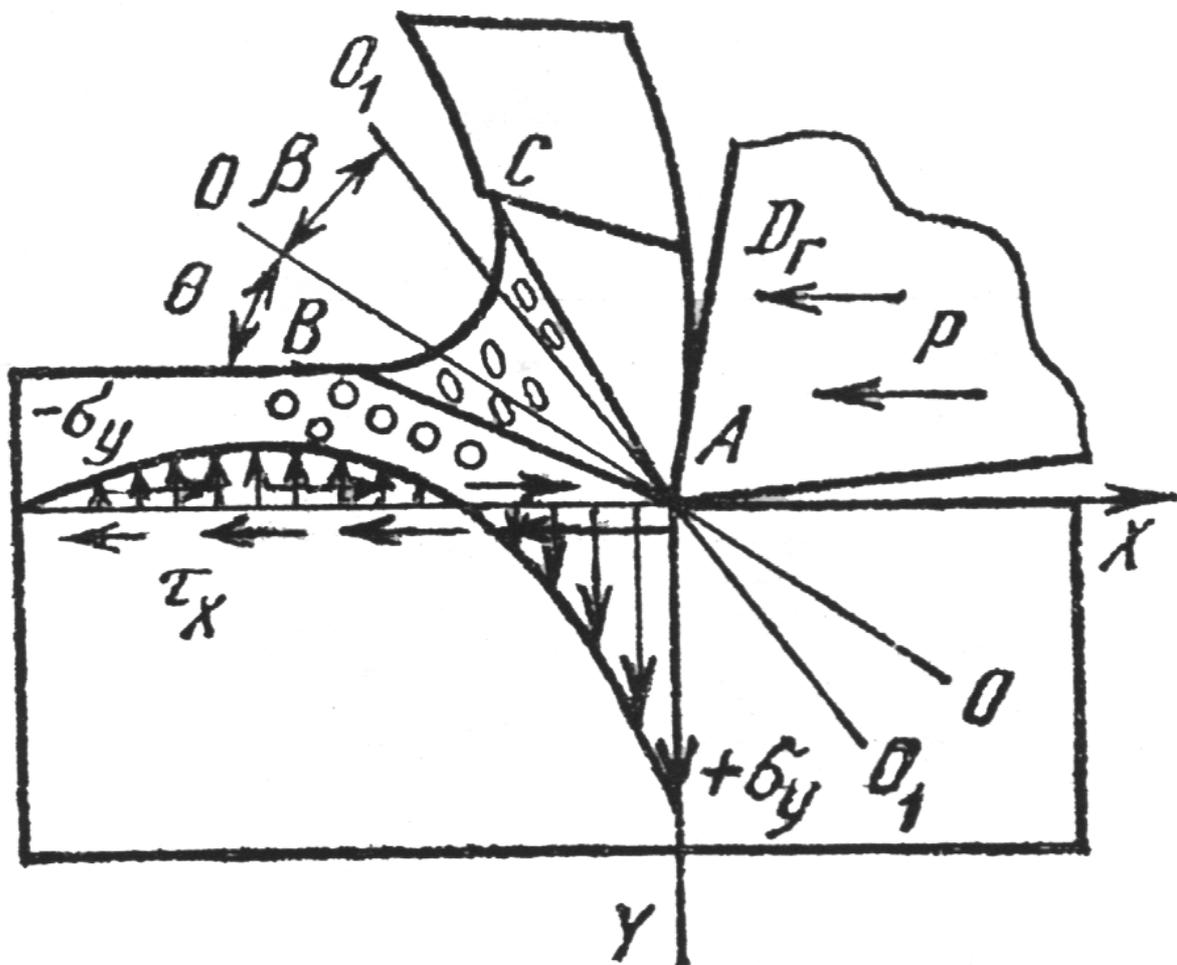


Рис.6. Схема резания лезвийным инструментом

Материал стружки дополнительно деформируется за счет ее трения о поверхность лезвия. Таким образом формируется структура сильно измельченных и вытянутых вдоль текстуры  $O_1O_1$  (угол текстуры  $\beta$ ) зерен стружки. Степень текстурирования максимальна для пластичных металлов ( $\beta \geq 30^\circ$ ) и деформирования стружки очень мала у хрупких ( $\beta \approx 0$ ). Характер деформирования срезаемого слоя и стружкообразование зависят также от параметров инструмента, режимов и условий обработки. Сливная стружка (сплошная лента с гладкой прирезцовою и слегка зазубренной внешними сторонами) образуется при резании пластичных металлов; суставчатая с ярко выраженными зазубринами — при резании металлов средней твердости и элементная из отдельных, несвязанных фрагментов — при резании хрупких металлов. Деформирование стружки выражается также в ее укорочении и утолщении при неизменности ширины. Его характеристиками являются коэффициенты укорочения  $K_l$  (для хрупких металлов  $K_l \approx 1$ , для пластичных — 5-7) и утолщения  $K_a$ , которые входят в расчеты при проектировании режущего инструмента, устройств дробления и удаления стружки.

Деформирование и срезание с заготовки слоя металла происходит под действием внешней силы, приложенной к ней со стороны инструмента. В результате сопротивления деформированию возникают реактивные силы, дей-

ствующие на инструмент:  $\bar{P}_1$  и  $\bar{P}_2$  — упругого и пластичного деформирования, направленные перпендикулярно передней и главной задней поверхностям (см. рис.7а) и силы трения  $\bar{T}_1$  и  $\bar{T}_2$ , направленные вдоль этих поверхностей. Сила резания является равнодействующей этих сил:

$$\bar{P} = \bar{P}_1 + \bar{P}_2 + \bar{T}_1 + \bar{T}_2.$$

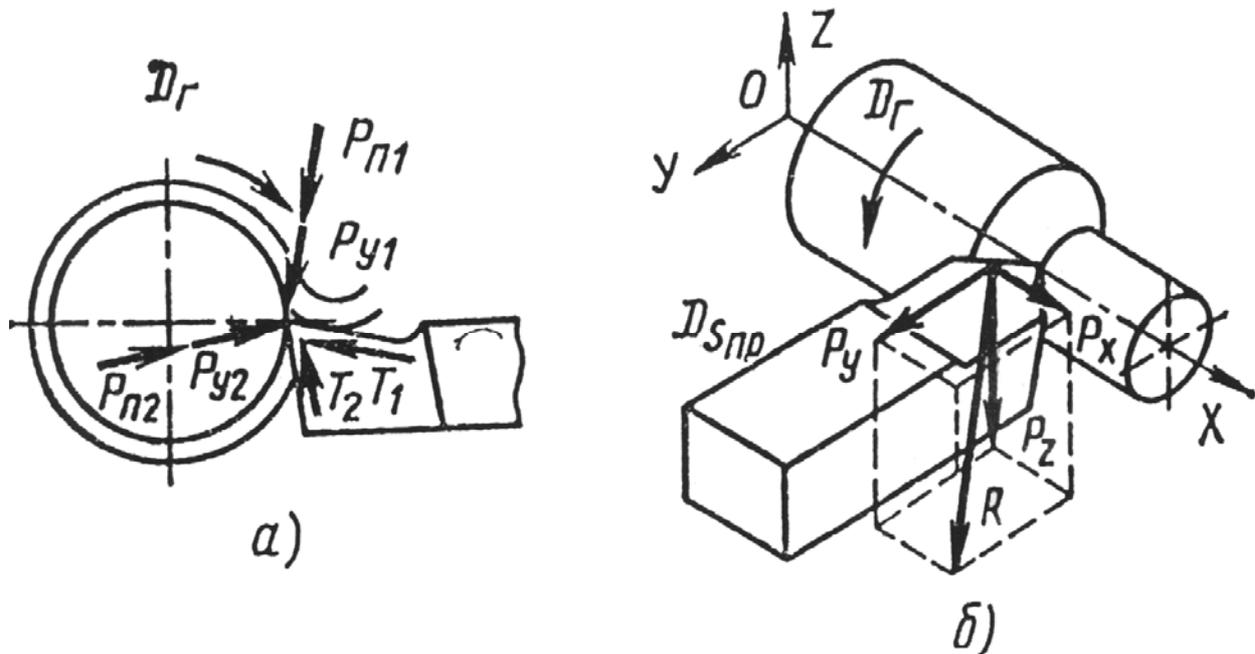


Рис.7. Составляющие и разложение сил резания

Считают, что точка приложения силы  $\bar{P}$  находится на главной режущей кромке инструмента (рис.7б). Однако и величина, и направление, и точка приложения  $\bar{P}$  в процессе резания являются переменными из-за неоднородностей структуры обрабатываемого металла, непостоянства параметров срезаемого слоя, изменения угла  $\gamma$  и  $\alpha$  в процессе резания и других факторов. Для расчетов прочности инструмента и узлов станка, мощности привода и др. используют не  $\bar{P}$ , а ее составляющие по координатным осям станка. Для токарного станка (рис.7б): ось X — линия центров; Y — горизонтальная линия, перпендикулярная линии центров; Z — линия, перпендикулярная плоскости XOY.

Главная (касательная) составляющая силы резания  $P_z$  действует в плоскости резания в направлении главного движения. По  $P_z$  определяют крутящий момент на шпинделе, эффективную мощность резания, изгиб заготовки в плоскости XOZ, изгиб резца и его отжатие от заготовки, рассчитывают динамику механизма коробки скоростей.

Радиальная составляющая силы резания  $P_y$  действует в плоскости XOY перпендикулярно оси заготовки. По  $P_y$  определяют упругое отжатие резца от заготовки и ее изгиб в плоскости XOY.

Осевая составляющая силы резания  $P_x$  действует вдоль оси заготовки. По ней рассчитывают механизм подачи станка и изгибающий момент, действующий на стержень резца.

По деформированию заготовки, возникающей под действием  $P_z$  и  $P_y$ , рассчитывают ожидаемую точность размерной обработки и погрешностей формы. По суммарному изгибающему моменту  $\sqrt{P_z^2 + P_x^2} \cdot l$  рассчитывают стержень резца на прочность ( $l$  — длина стержня); крутящий момент на шпинделе:

$$M_{к.м} = 0,5P_z \cdot D_3 [мм] \cdot 10^{-3},$$

эффективную мощность  $N_e$ , расходуемую на деформирование и срезание стружки:

$$N_e = \frac{P_z \cdot v}{60 \cdot 10^3} + \frac{P_x \cdot n \cdot S_{np}}{60 \cdot 10^6}$$

и др.

Силы  $P_x$ ,  $P_y$  и  $P_z$  определяют по эмпирическим формулам, например:

$$P_z = C_{P_z} \cdot t^x \cdot S^y \cdot v^n \cdot K_{ш},$$

где  $C_{P_z}$  — коэффициент, учитывающий свойства обрабатываемого материала;  $K_{ш}$  — другие факторы (углы заточки и материал резца, например). Значения  $C_{P_z}$ ,  $K_{ш}$  и показателей степеней:  $x$ ,  $y$ ,  $n$  даются в справочниках для проходного острого резца с  $\gamma = 15^\circ$ ;  $\varphi = 45^\circ$ ;  $\lambda = 0$  при точении без охлаждения:  $P_z : P_y : P_x = 1 : 0,45 : 0,35$ .

#### 4. Явления в зоне обработки

При обработке резанием пластичных металлов на передней поверхности лезвия инструмента может образоваться нарос. Металл заготовки при некоторых условиях прочно сцепляется с инструментом, хотя размеры и форма нароста постоянно меняются. Нарост существенно влияет на резание и качество обработанной поверхности:

1. Силы резания уменьшаются, т.к. увеличивается передний угол резца;
2. Уменьшается износ инструмента по передней поверхности;
3. Улучшается теплоотвод, но (рис. 8а);
4. Увеличивается шероховатость обработанной поверхности;
5. Ухудшается ее качество из-за волнистости и вибраций станка и др.

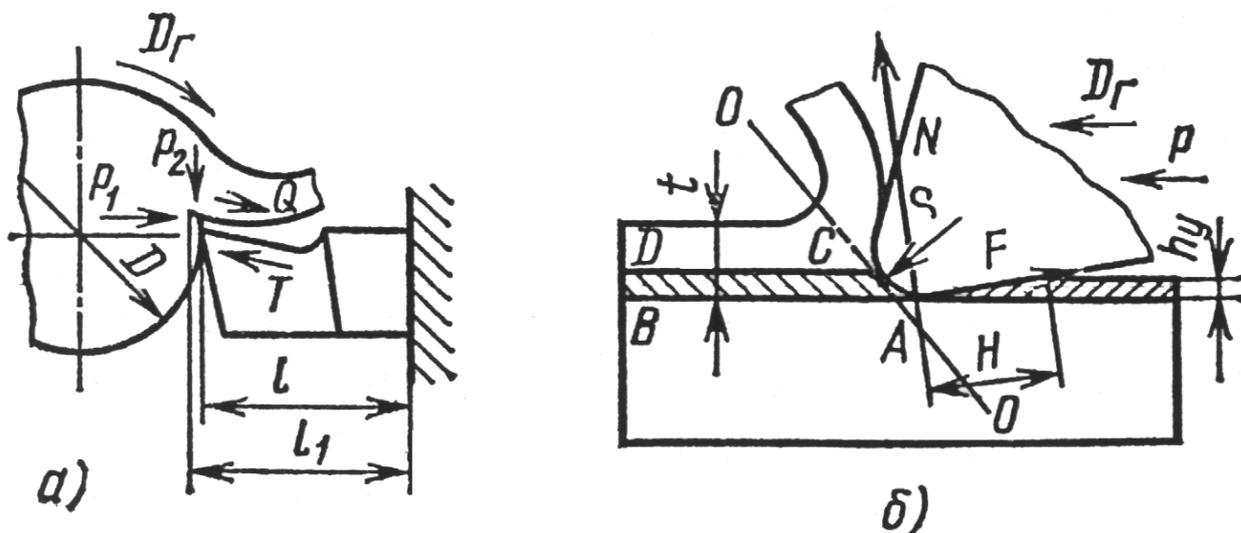


Рис.8. Наростообразование (а), наклеп и деформирование обработанной поверхности (б)

Т.о., нарост полезен при черновой, но вреден при чистовой обработке.

Для предотвращения наростообразования нужно изменять геометрию режущего инструмента; подбирать скорость резания; применять смазочно-охлаждающие жидкости (СОЖ) и чистящую обработку передней поверхности резца (для уменьшения сил трения).

Результатом упругого и пластичного деформирования обрабатываемого материала является упрочнение (наклеп) поверхностного слоя. Это, в первую очередь, связано с тем, что инструмент не идеально острый, а имеет закругленные режущие кромки с радиусом  $\rho \geq 0,02$  мм (рис.8б) ( $\rho$  растет по мере износа). Твердость упрочненного слоя (обычно  $h \approx \rho$ ) возрастает в 2 и более раз в зависимости от физико-механических свойств обрабатываемого материала, геометрии резца и режима резания. Следствием деформации является упругое восстановление поверхностного слоя, возрастание сил трения по вспомогательной задней поверхности инструмента и искажению размеров и формы обрабатываемой заготовки. Следовательно, окончательную обработку следует вести так, чтобы остаточные напряжения отсутствовали или были минимальными. Предпочтительными являются напряжения сжатия и то только на заключительных стадиях обработки. (Наклеп, полученный при черновой обработке, отрицательно влияет на режимы последующей чистовой обработки).

Резание сопровождается выделением в зоне обработки теплоты из-за: упруго пластического деформирования материала; трения стружки о переднюю поверхность лезвия, трения задних поверхностей о поверхность резания и обрабатываемую поверхность. Уравнение теплового баланса:

$$Q = Q_g + Q_{n.n} + Q_{z.n} = Q_c + Q_z + Q_u + Q_l,$$

где  $Q_g$ ,  $Q_{n.n}$  и  $Q_{z.n}$  — деформационная и трибосоставляющие тепловыделения;  $Q_c$  — тепло отводимое стружкой;  $Q_z$  — заготовкой;  $Q_u$  — инструментом;  $Q_l$  — излучением в среду. В зависимости от метода и условий обработки:

$Q_c = (25-85\%)Q$ ;  $Q_s = (10-50\%)Q$ ;  $Q_u = (2-8\%)Q$ . Главный фактор — скорость резания (см. рис. 9, 10).

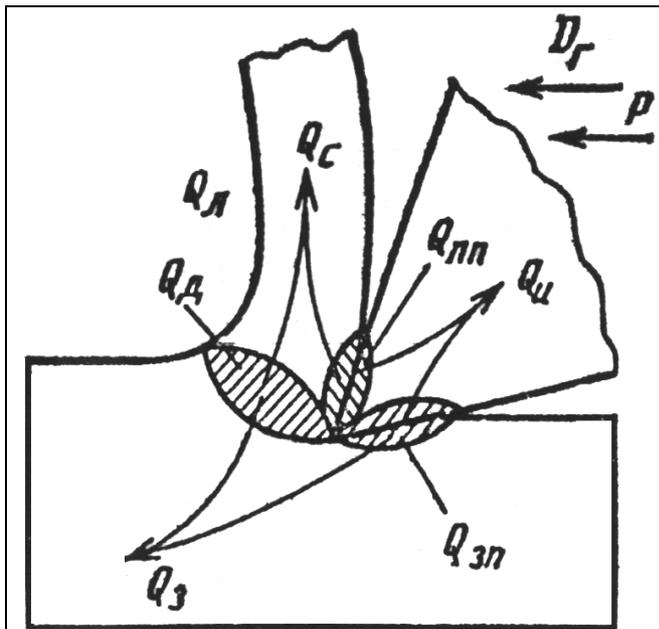


Рис.9. Источники тепловыделения и отвод тепла из зоны резания

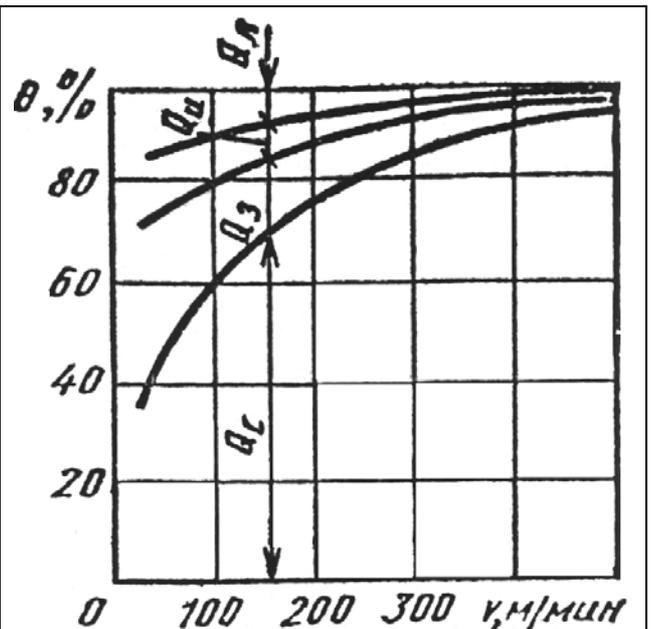


Рис.10. Зависимость теплоотвода от скорости резания

Теплообразование отрицательно влияет на процесс резания:

1. Нагрев инструмента до высоких температур (см. распределение на рис. 11а,б) в 800-1000°С вызывает структурные превращения материала и, как следствие, снижение твердости и режущих способностей;
2. Изменяется геометрическая форма и размеры инструмента, а значит отклоняются формы и размеры обрабатываемых поверхностей;
3. Неоднородность температурного поля в объеме заготовки влияет на отклонение ее формы и размеров от номинальных, и должна быть учтена при наладке станков.

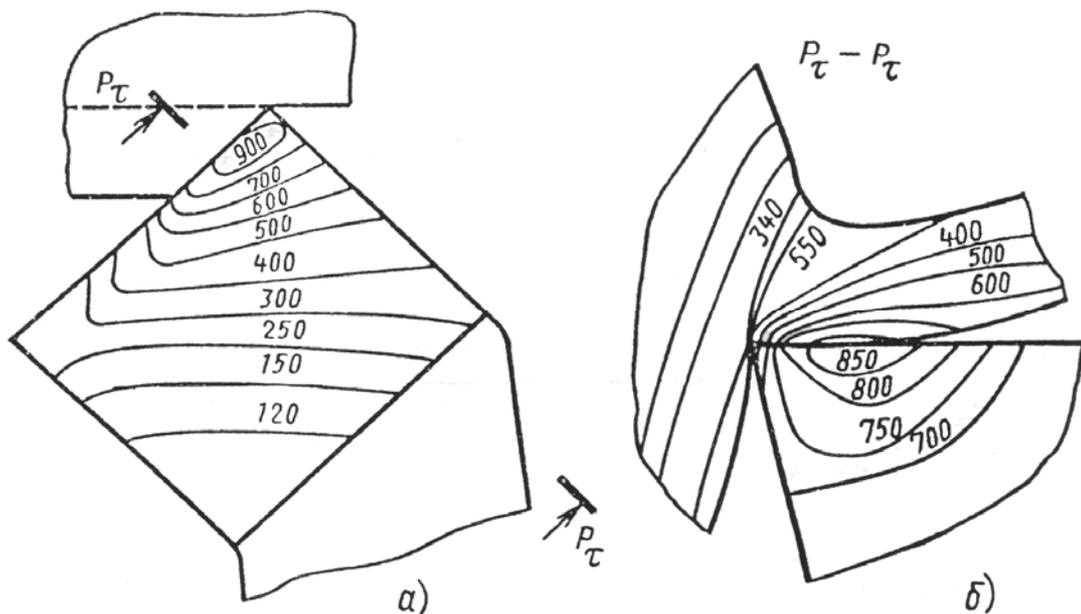


Рис.11. Распределение температуры по сечению токарного резца

Для уменьшения отрицательного влияния тепловыделения обработку следует вести на оптимальных режимах с применением охлаждающих средств. В их качестве применяются:

— жидкости (водные растворы солей, мыл, эмульсии, масла и эмульсии, ПАВ с добавлением смазочных и защитных веществ (графит, парафин, воск);

— газы и газообразующие вещества ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{CCl}_4$ ,  $\text{N}_2$ , пары ПАВ, распыленные жидкости, пены);

— твердые вещества (порошки воска, парафина, мыла и др.)

Наиболее эффективны СОЖ: снижается трение стружки, работа деформирования, тепловыделение, наростообразование и др. Эффективная мощность резания уменьшается на 10-15%, возрастает стойкость инструмента, улучшается точность и качество обрабатываемых поверхностей.

При черновой и получистой обработке (необходимо сильное охлаждение) в основном используются водные эмульсии. Расход 5-150 л/мин. При чистовой обработке — различные масла с активизаторами (P; S; Cl). При обработке хрупких материалов (элементарная стружка) — охлаждают сжатым воздухом, углекислотой. Способы подвода СОС растворов в зону обработки показаны на рис.12.

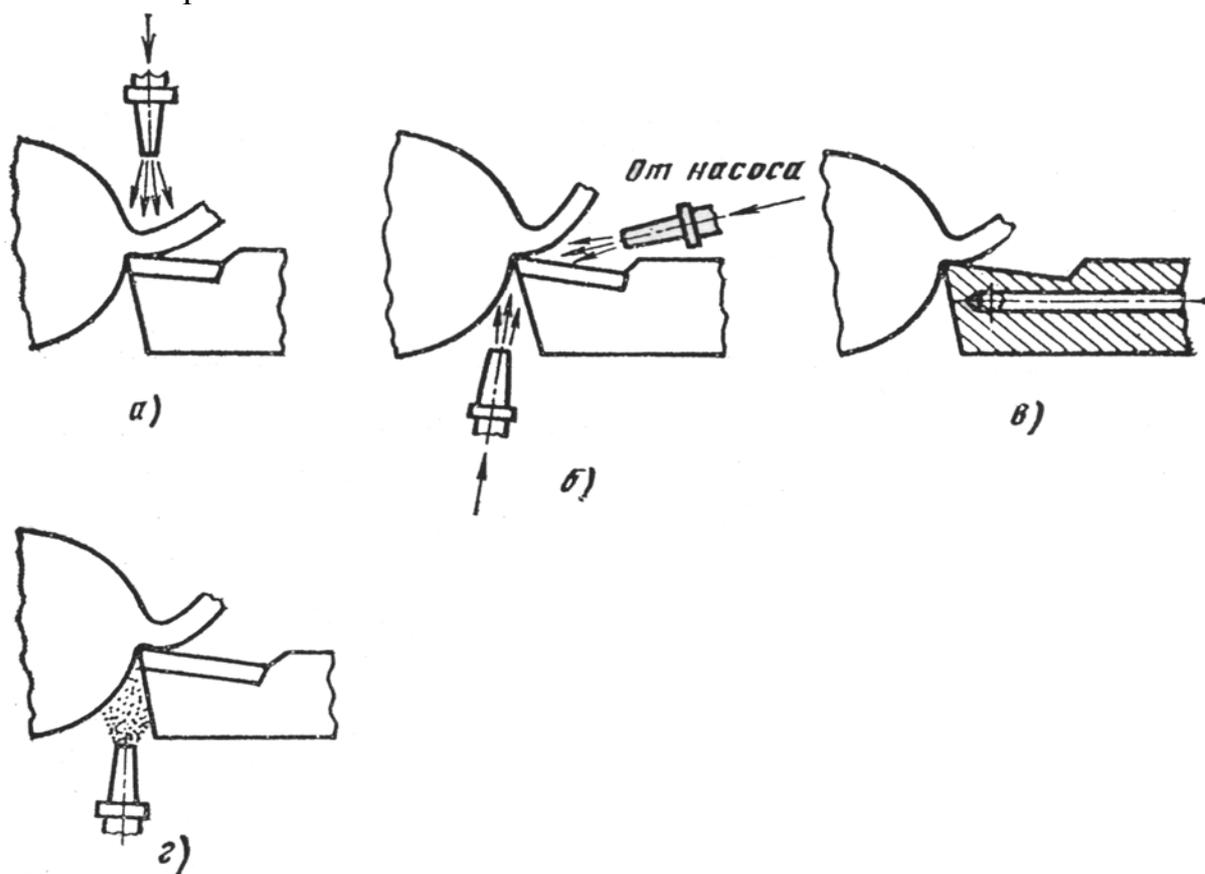


Рис.12. Способы подвода смазывающе-охлаждающих веществ в зону обработки

Трение между стружкой и передней поверхностью лезвия и между главной задней поверхностью и заготовкой приводит к изнашиванию инструмента (в основном абразивному). В дополнение к нему за счет высоких

температур и давлений наблюдаются и другие виды изнашивания: окислительное, адгезионное (за счет сил молекулярного сцепления материалов); термическое (структурные превращения в материале инструмента). При изнашивании на передней поверхности лезвия (рис. 13 а) образуется лунка шириной  $b$ , а на главной задней поверхности — ленточка шириной  $h$ .

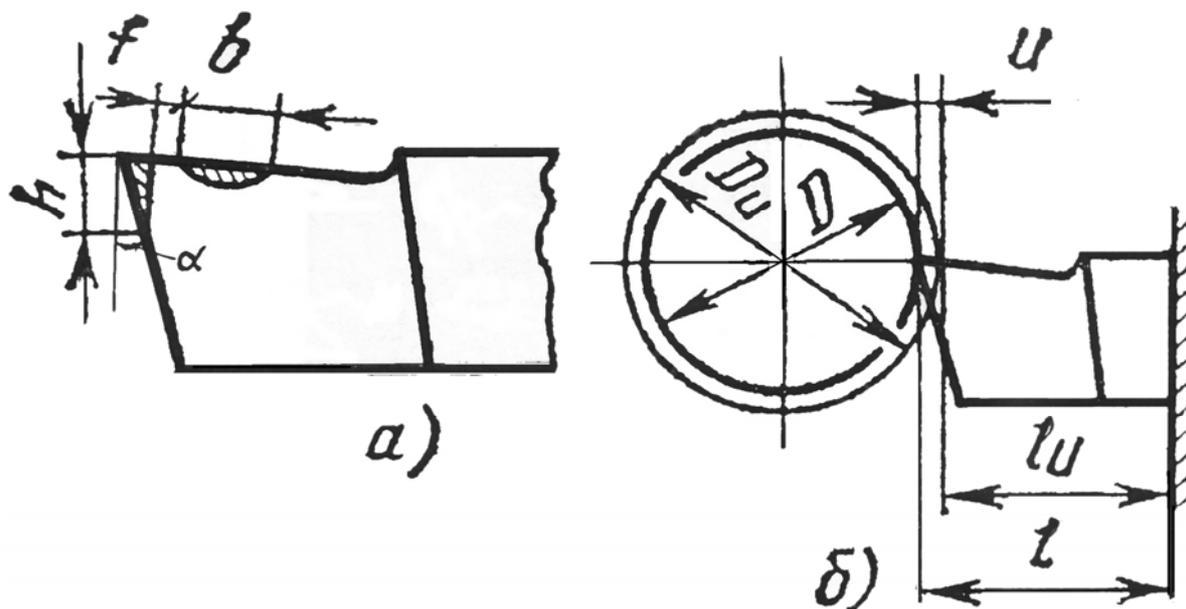


Рис.13. Критерии износа (а) и его влияние на точность обработки

Износ  $h$  влияет на глубину резания, так как, уменьшается вылет резца (рис.13б) на  $u = l - l_u \approx h \cdot \operatorname{tg} \alpha$  и глубина резания  $t$ . Обрабатываемая поверхность получается конусообразной. Допустимое значение износа  $h$  называют критерием износа. Для токарных резцов из быстрорежущей стали:  $h \approx 1,5 - 2,0$  мм; твердосплавных резцов —  $h = 0,8 - 1,0$  мм; минералокерамики —  $h = 0,5 - 0,8$  мм.

Под периодом стойкости инструмента  $T$  понимают суммарное время (в мин.) его работы между заточками. Для различных инструментальных материалов  $T = 30 - 90$  мин. и зависит от свойств материала инструмента и заготовки, режима резания, геометрии инструмента и условий обработки. Наибольшее влияние на  $T$  оказывает скорость резания. Связь  $v$  и  $T$  выражается зависимостью  $v_i \cdot T_i^m = \operatorname{const}$  или  $v = c / T^m$ , ( $c$  — постоянная). Поскольку показатель стойкости  $m = 0,1 - 0,3$  мал,  $T$  резко падает даже при незначительном увеличении  $v$ . То есть обработку следует вести на расчетной  $v$  или ближайшей меньшей за расчетную частоте вращения шпинделя.

Износ влияет также на силы резания (а следовательно увеличиваются деформации заготовки и инструмента, величина наклепа, теплообразование и др.). Влияние размерности износа устраняется периодической подналадкой станка с помощью адаптивных систем обратной связи, заменой инструментальных магазинов и др.

Между точностью, качеством и производительностью обработки существует обратная связь. Наибольшей производительности достигают при работе с наибольшими  $S$ ,  $t$ ,  $v$  и наименьшими длине обработки и припуске, но

точность и качество поверхности будут низкими. Обработку следует вести на таких режимах, которые обеспечивают требуемые показатели качества при рациональной производительности. Их назначают в следующей последовательности:

1. Задают глубину резания так, чтобы за один проход снять весь припуск. Если надо сделать 2 рабочих хода — за первый снимают ~80%, а за второй (чистовой) — остальную часть припуска.

2. Выбирают подачу. Она должна быть максимальной, но обеспечивающей требуемые точность, шероховатость. При этом учитывается мощность станка, свойства инструмента, жесткость и динамические характеристики системы СПИД и стоимость инструмента.

3. Определяют скорости резания по справочным данным или с помощью эмпирических формул. Например, при точении:

$$v = c_v \cdot t^x \cdot S^y \cdot T^m \text{ [м/мин]}.$$

4. Рассчитывают частоту вращения заготовки или инструмента.

## 5. Инструментальные материалы

Режущие инструменты изготавливают целиком или частично из инструментальных сталей и твердых сплавов.

Инструментальные стали разделяют на углеродистые, легированные и быстрорежущие. Углеродистые инструментальные стали применяют для изготовления инструмента, работающего при малых скоростях резания. Из углеродистой стали марок У9 и У10А изготавливают ножи, ножницы, пилы, из У11, УНА, У12—слесарные метчики, напильники и др. Буква У в марке стали обозначает, что сталь углеродистая, цифра после буквы указывает на содержание в стали углерода в десятых долях процента, а буква А — на то, что сталь углеродистая высококачественная, так как содержит серы и фосфора не более 0,03 % каждого.

Основными свойствами этих сталей является высокая твердость (HRC 62—65) и низкая теплостойкость. Под теплостойкостью понимается температура, при которой инструментальный материал сохраняет высокую твердость (HRC 60) при многократном нагреве. Для сталей У10А — У13А теплостойкость равна 220°C, поэтому рекомендуемая скорость резания инструментом из этих сталей должна быть не более 8—10 м/мин. Легированные инструментальные стали бывают хромистыми (Х), хромистокремнистыми (ХС) и хромовольфрамомаганцовистыми (ХВГ) и др.

Из стали марки Х изготавливают метчики, плашки, резцы; из стали 9ХС, ХГС — сверла, развертки, метчики и плашки; из стали ХВ4, ХВ5 — сверла, метчики, развертки; из стали ХВГ — длинные метчики и развертки, плашки, фасонные резцы. Теплостойкость легированных инструментальных сталей достигает 250—260°C и поэтому допустимые скорости резания для них в 1,2—1,5 раза выше, чем для углеродистых сталей.

Быстрорежущие (высоколегированные) стали применяют для изготовления различных инструментов, но чаще сверл, зенкеров, метчиков. Быстро-

режущие стали обозначают буквами и цифрами, например Р9, Р6М3 и др. Первая Р (рапид) означает, что сталь быстрорежущая. Цифры после нее указывают среднее содержание вольфрама в процентах. Остальные буквы и цифры обозначают то же, что и в марках легированных сталей.

Разные группы быстрорежущих сталей отличаются по своим свойствам и областям применения. Стали нормальной производительности, имеющие твердость до HRC 65, теплостойкость до 620°C и прочность на изгиб 3000-4000 МПа, предназначены для обработки углеродистых и низколегированных сталей с пределом прочности до 1000 МПа, серого чугуна и цветных металлов. К сталям нормальной производительности относят вольфрамовые марок Р8, Р12, Р9, Р9Ф5 и вольфрамо-молибденовые марок Р6М3, Р6М5, сохраняющие твердость не ниже HRC 62 до температуры 620°C.

Быстрорежущие стали повышенной производительности, легированные кобальтом или ванадием, с твердостью до HRC 73-70 при теплостойкости 730-650°C и с прочностью на изгиб 2500-2800 МПа предназначены для обработки сталей и сплавов с пределом прочности свыше 1000 МПа, титановых сплавов и др. Улучшение режущих свойств этой стали достигается повышением содержания в ней углерода с 0,8 до 1 %, а также дополнительным легированием цирконием, азотом, ванадием, кремнием и другими элементами. К этой группе сталей относят ЮР6М5К5, Р2М6Ф2К8АТ, Р18Ф2, Р14Ф4, Р6М5К5, Р9М4ЕВ, Р9К5, Р9К10, Р10К5Ф5, Р18К5Ф2 и др.

Твердые сплавы делят на металлокерамические и минералокерамические, их изготавливают по керамической технологии в виде пластинок разной формы. Твердосплавный инструмент позволяет обрабатывать практически все конструкционные материалы и обеспечивает более высокую производительность и качество обработки.

Металлокерамические твердые сплавы бывают на вольфрамовой, титановольфрамовой, титанотанталовольфрамовой основе.

Вольфрамовые сплавы группы ВК состоят из порошка карбидов вольфрама и кобальтовой связки. Наибольшее применение имеют сплавы марок ВК3, ВК3М, ВК4, ВК6, ВК60М, ВК8, ВК10М. Буква В означает карбид вольфрама, К — кобальт, цифра — процентное содержание кобальта (остальное — карбид вольфрама). Буква М, означает, что сплав мелкозернистый. Такая структура сплаве повышает износостойкость инструмента, но снижает сопротивляемость ударам. Применяются вольфрамовые сплавы для обработки чугуна, цветных металлов и их сплавов и неметаллических материалов (резины, пластмассы, фибры, стекла и др.).

Титановольфрамовые сплавы группы ТК изготавливаются на основе карбидов вольфрама и титана. К этой группе относят сплавы марок Т5К10, Т5К12, Т14К8, Т15К6, Т30К4. Буква Т и цифра за ней указывают на процентное содержание карбида титана, буква К и цифра за ней — процентное содержание карбида кобальта, остальное — карбид вольфрама. Применяются эти сплавы для обработки всех видов сталей.

Титанотанталовольфрамовые сплавы группы ТТК состоят из карбидов вольфрама, титана, тантала и кобальта. К этой группе относят сплавы марок

ТТ7К12 и ТТ10КВ-Б содержащие соответственно 7 и 10 % карбидов титана и тантала, 12 и 8 % кобальтовой связки, остальное — карбид вольфрама. Это сплавы для особо тяжелых условий обработки, когда применение других инструментальных материалов не эффективно.

Сплавы, имеющие меньшее содержание кобальта, марок ВКЗ, ВК4 обладают пониженной вязкостью и применяют для обработки со снятием тонкой стружки на чистовых операциях. Сплавы с большим содержанием кобальта марок ВК8 Т14К8 Т5К10 более вязкие и ударопрочные, их применяют для черновой обработки.

Мелкозернистые твердые сплавы марок ВКЗМ, ВК6М, ВК10М и крупнозернистые сплавы марок ВК4 и Т5К12 применяют в условиях пульсирующих нагрузок и при обработке труднообрабатываемых нержавеющей, жаропрочных и титановых сплавов

Твердые сплавы обладают высокой теплостойкостью. Так, вольфрамовые и титановольфрамовые твердые сплавы сохраняют твердость при температуре в зоне обработки 800—950°С, что позволяет работать при высоких скоростях резания (до 500 м/мин при обработке сталей и 2700 м/мин при обработке алюминия).

Для обработки нержавеющей жаропрочных и других труднообрабатываемых сталей и сплавов предназначены особо мелкозернистые вольфрамкобальтовые сплавы группы ОМ: ВК6-ОМ — для чистовой обработки, а сплавы ВК10ОМ и ВК15ОМ — для получистовой и черновой обработки. Дальнейшее развитие и совершенствование сплавов для обработки труднообрабатываемых материалов вызвало появление сплавов марок ВК10ХОМ и ВК15ХОМ, в которых карбид тантала заменен карбидом хрома. Легирование сплавов карбидом хрома увеличивает их твердость и прочность при повышенных температурах. Для повышения прочности пластинок из твердого сплава применяют плакирование — покрытие их защитными пленками. Широко применяют износостойкие покрытия из карбидов, нитридов и карбонитридов титана, нанесенные на поверхность твердосплавных пластин в виде тонкого слоя толщиной 5—10 мкм. При этом на поверхности твердосплавных пластин образуется мелкозернистый слой карбида титана, обладающий высокой твердостью, износостойкостью и химической устойчивостью при высоких температурах. Стойкость твердосплавных пластин с покрытием в 1,5—3 раза выше стойкости обычных пластин, скорость резания ими может быть увеличена на 25—80 %. В тяжелых условиях резания, когда наблюдаются выкрашивание и сколы у обычных пластин, эффективность пластин с покрытием снижается.

Промышленностью освоены экономичные безвольфрамовые твердые сплавы на основе карбида титана и ниобия, карбонитридов титана на никелемолибденовой связке марок ТМ1, ТМЗ, ТН-20, ТН-30, КНТ-16. Они обладают более высокой окалиностойкостью, превышающей стойкость сплавов на основе карбида титана более чем в 5—10 раз. При обработке на высоких скоростях резания на поверхности сплава образуется тонкая оксидная пленка, выполняющая роль твердой смазки, что обеспечивает повышение износо-

стойкости инструмента и снижение шероховатости обработанной поверхности. Вместе с тем безвольфрамовые твердые сплавы имеют более низкие ударную вязкость и теплопроводность, а также стойкость к ударным нагрузкам, чем сплавы группы ТК. Это позволяет применять их в основном при чистовой и получистовой обработке конструкционных и низколегированных сталей и цветных металлов.

Основным компонентом минералокерамических материалов является оксид алюминия, карбиды и нитриды металлов с добавкой вольфрама, титана, тантала и кобальта.

Оксидная (белая) керамика марок ЦМ-332, ВО-13, ВШ-75 и др. отличается высокой теплостойкостью (до 1200°С) и износостойкостью, что позволяет обрабатывать металлы на высоких скоростях резания (при чистовом обтачивании чугуна - до 3700 м/мин), которые в 2 раза выше, чем для твердых сплавов.

В настоящее время для изготовления режущих инструментов применяют также черную керамику марок ВЗ, ВОК-60, ВОК-63, ВОК-71, которая представляет собой композит из оксида алюминия, 30-40% карбидов вольфрама и молибдена или молибдена и хрома и тугоплавких связей. Введение в состав минералокерамики металлов или карбидов металлов улучшает ее физико-механические свойства, а также снижает хрупкость. Это позволяет увеличить производительность обработки за счет повышения скорости резания. Полуцистовая и чистовая обработка деталей из серых, ковких чугунов, труднообрабатываемых сталей, некоторых цветных металлов и сплавов производится со скоростью резания 435—1000 м/мин без смазочно-охлаждающей жидкости. Режущая керамика отличается высокой теплостойкостью.

Оксидно-нитридная керамика состоит из нитридов кремния и тугоплавких материалов с включением оксида алюминия и других компонентов (силинит-Р и кортинит ОНТ-20). Так, силинит-Р по прочности не уступает оксидно-карбидной минералокерамике, но обладает большей твердостью (HRA94—96) и стабильностью свойств при высокой температуре. В процессе резания он не взаимодействует с большинством сталей и сплавов на основе алюминия и меди. Эффективен на операциях получистового и чистового точения различных материалов, а также при обработке закаленных сталей.

Закаленные и цементированные стали (HRC40—67), высокопрочные чугуны, твердые сплавы типа ВК25 и ВК15, стеклопластики и другие материалы обрабатывают инструментом, режущая часть которого изготовлена из крупных поликристаллов (диаметр 3-6 мм, длина 4-5 мм) на основе кубического нитрида бора (эльбор-Р, белбор, кубонит-Р, гексанит-Р). По твердости они мало уступают алмазу, а их теплостойкость в 2 раза выше (~ 1600°С). Эльбор-Р химически инертен к материалам на основе железа. Прочность поликристаллов на сжатие достигает 4000- 5000 МПа, на изгиб — 700 МПа, теплостойкость — 1350—1450 °С.

Из других сверхтвердых материалов распространены синтетические алмазы типа баланс (марка АСБ), карбонадо (марка АСПК). Карбонадо химически более активен к углеродсодержащим материалам, поэтому применя-

ется для точения цветных металлов, высококремнистых сплавов, твердых сплавов типа ВК10 — ВК30, неметаллических материалов. Стойкость резцов из карбонадо в 20—50 раз выше стойкости резцов из твердых сплавов.

К абразивным материалам относят электрокорунд нормальный марок 14А, 15А и 16А, электрокоруид белый марок 23А, 24А и 25А, монокорунд марок 43А, 44А и 45А. Карбид кремния зеленый марок 63С и 64С и черный марок 53С и 54С, карбид бора, эльбор, синтетический алмаз и др.

Абразивные материалы характеризуются зернистостью — линейными размерами зерен и подразделяются на шлифзерно № 200 – 16 (соответственно от 2500 до 160 мкм); шлифпорошки № 12 – 4 (соответственно от 160 до 40 мкм); микропорошки от М63 до М14 (соответственно от 63 до 10 мкм).

Из абразивных материалов изготавливают порошки, которые предназначены для обработки резанием в свободном и в связанном состоянии в виде абразивного инструмента (шлифовальных кругов, брусков, шкурок, лент и др.) и паст.

В процессе резания металла абразивными инструментами участвует большое число одинаковых по размеру абразивных зерен, скрепленных связующим веществом (связкой). Связка определяет прочность и твердость инструмента, влияет на режимы, производительность и качество обработки. Связки бывают неорганическими и органическими. К первым относят керамическую и металлическую, ко вторым — бакелитовую и вулканитовую.

Керамическая связка (К) создается на основе огнеупорной глины, обладает высокой прочностью, жесткостью, теплостойкостью и химической стойкостью, хорошо сохраняет профиль круга.

Бакелитовая связка (Б) создается на основе смол и обладает хорошей самозатачиваемостью и полирующим свойством, уступает керамической связке по теплостойкости и стойкости к щелочам. Вулканитовая связка (В) создается на основе синтетического каучука и обладает высокой упругостью и плотностью, уступает по прочности и теплостойкости.

Металлическая связка (М) создается на основе сплава меди, олова, цинка, никеля и других элементов и используется в основном для алмазных и эльборовых кругов, обладает высокой стойкостью, прочностью и теплопроводностью.

По степени твердости керамической связки различают мягкие (М1, М2, М3), среднемягкие (СМ1, СМ2), средние (С1, С2), среднетвердые (СТ1, СТ2, СТ3), твердые (Т1, Т2) и другие шлифовальные круги.

Зернистость, связка, степень твердости и другие параметры маркируют на каждом абразивном инструменте, которые составляют его характеристику. Например, на шлифовальном круге может быть приведена следующая характеристика: **14А40ПС26К5**, где 14А — марка абразивного материала, 40 — номер зернистости, П — индекс зернистости, С2 — степень твердости, 6 — номер структуры, К5 — вид керамической связки.

Шлифовальные круги могут иметь различный профиль в осевом сечении: прямоугольный, чашечный (цилиндрический и конический), тарельчатый и др.

Шлифовальные бруски изготовляют из белого электрокорунда зернистостью от 25 до М7 и зеленого карбида кремния зернистостью от 16 до М7. По форме поперечного сечения различают квадратные (БКв), прямоугольные (БП), треугольные (БТ) и другие шлифовальные бруски.

Шлифовальные шкурки выпускают на тканевой и бумажной основе, абразивный слой закрепляется на основе водостойкими или неводостойкими связками. На шлифовальные шкурки может наноситься электрокорунд белый и нормальный, карбид кремния, эльбор, алмаз и др. Зернистость абразивного материала может быть от 80 до М4.

Абразивные пасты состоят из абразивных материалов, связки и поверхностно-активных веществ. В качестве абразивных материалов применяют электрокорунд, карбид кремния, карбид бора, алмаз, оксиды железа, хрома, алюминия и др. Абразивные пасты подразделяют по консистенции на твердые (Т) и мажеобразные (М), по смываемости — на смываемые органическими растворителями (О), водой (В), а также водой и органическими растворителями (ВО); по концентрации — на повышенные (П) и нормальные (Н). В качестве связки могут быть использованы, в зависимости от выполняемой работы, животные жиры, стеарин, парафин, вазелин, веретенное масло и др. Повышение активности паст достигается введением поверхностно-активных элементов; к ним относят олеиновую и стеариновую кислоты.

## **6. Классификация металлорежущих станков**

Классификация металлорежущих станков проводится как по отдельным признакам (метод обработки, назначение, степень автоматизации, число главных рабочих органов, конструкция, точность изготовления и др.), так и по их комплексу.

По технологическому методу обработки (вид режущего инструмента, характер обрабатываемых поверхностей, схемы обработки и др.) различают токарные, сверлильные, шлифовальные; шлифовальные и доводочные; фрезерные, зубообрабатывающие и др.

Классификация по назначению характеризует степень универсальности станка. Различают универсальные, широкого применения, специализированные и специальные станки.

По степени автоматизации различают станки с ручным управлением, полуавтоматы, автоматы и станки с программным управлением.

По числу главных рабочих органов — одно-шпиндельные, многошпиндельные, одно- и многосуппортные и др.

Конструкционный признак отражает существенные особенности конструкции станков.

По классу точности различают станки Н — нормальной; П — повышенной; В — высокой; А — особо высокой точности и С — особо точные станки.

Классификация по комплексу признаков построена следующим образом: все станки разбиты на 10 групп, группы — на 10 типов, а типы — на 10 типоразмеров. В группу объединены станки с близкими или общими техни-

ческими методами обработки (например, сверлильные и расточные). Типы характеризуют такие признаки, как назначение, степень универсальности, число главных рабочих органов, конструкция. Внутри типа — по техническим характеристикам. Т. о. в шифре станка 1-я цифра — группа; 2-я — тип; 3-я (и 4-я) — условный размер станка. Буква на 2-м или 3-м месте позволяет различать станки одного типоразмера, но с различными техническими характеристиками. Типоразмер — это значение рабочего пространства станка (для токарных станков — максимальный диаметр обрабатываемой заготовки; фрезерных — размеры рабочего стола; сверлильных — максимальный диаметр отверстия). Так, шифр 16К20П означает: 1 — токарная группа; 6 — токарно-винторезный тип; К — очередная модификация базовой модели; 20 — высота центров (200 мм); П — повышенная точность.

Шифр станков с ПУ содержит букву Ф и цифру после нее.

Конструктивно металлорежущий станок — это совокупность узлов и механизмов, обеспечивающих технологически необходимые движения исполнительных органов. Они располагаются на прочной станине, являющейся базовым узлом станка. В зависимости от служебного назначения узлы и механизмы либо неподвижны, либо перемещаются относительно станины. Их взаимное расположение характеризует компоновку станка, которая отражает метод обработки, характер рабочих движений и кинематическую структуру. В компоновочную структуру станка входят стационарные (станина, передняя и задняя бабки, коробка подач и др.) и подвижные блоки. Блочное строение позволяет обозначать станок в виде сочетания символов в структурной формуле компоновки, учитывающей их перемещения и характер сопряжения. Направление X всегда горизонтально, ось Z всегда параллельна оси главного шпинделя станка. Подвижные блоки обозначают теми же знаками, что и их координатные движения, причем движения формообразования — прописные буквы, установочные и вспомогательные — строчные. Стационарный блок — O. Справа — блок, несущий инструмент, слева — заготовку (рис.14).

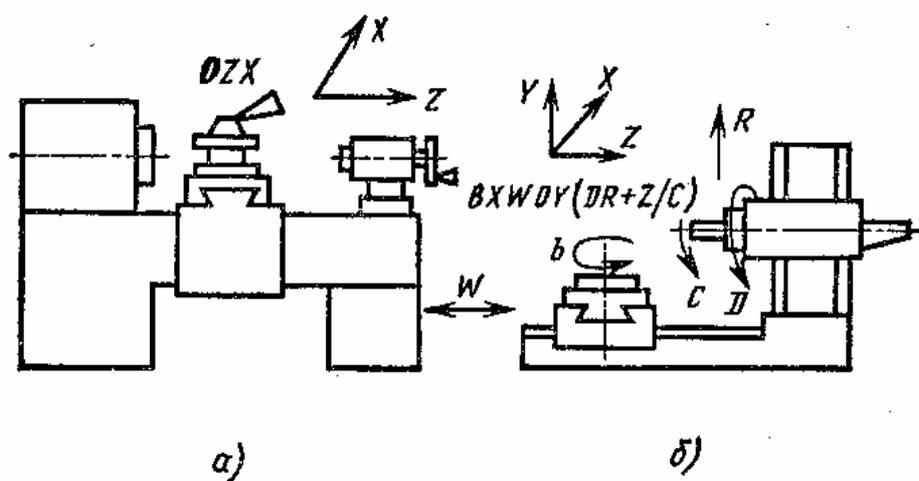


Рис.14. Конструкция и компоновочные схемы токарного и координатно-расточного станков

## 7. Токарная обработка

Наиболее распространённый метод изготовления деталей типа тел вращения (валы, диски, оси, фланцы, кольца, втулки, гайки, муфты и т.д.) на станках токарной группы. Формообразование обеспечивается вращательным движением заготовки и поступательным инструмента (резца). Подача может быть продольной (параллельной оси вращения заготовки), поперечной и под углом к оси.

Позволяет обтачивать и растачивать цилиндрические, конические, шаровые и профильные поверхности, подрезать торцы, вытачивать канавки, наружные и внутренние резьбы, накатывать рифление, сверлить, зенковать и развальцовывать отверстия и др. (рис.15).

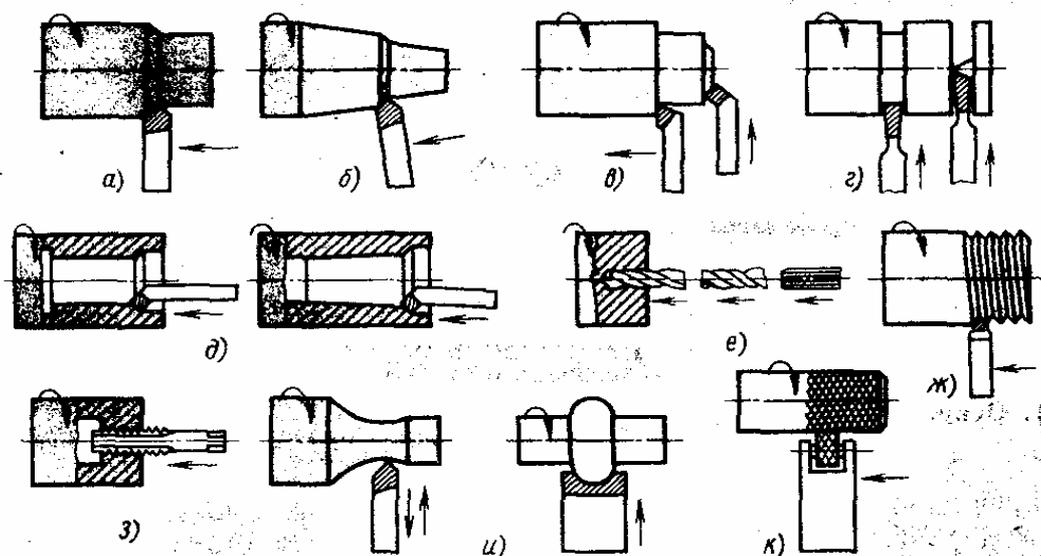


Рис.15. Технологические возможности токарной обработки

Для выполнения этих работ используются различные инструменты и, в первую очередь, токарные резцы. Их классифицируют:

1. по направлению подачи — правые, левые;
  2. по конструкции головки — прямые, отогнутые и оттянутые;
  3. по роду инструментального материала (быстрорежущая сталь, твердые сплавы, металлокерамика);
  4. по способу изготовления — цельные и составные;
  5. по сечению стержня — прямоугольные, круглые и квадратные;
  6. по технологическому принципу различают: проходные (прямые, отогнутые и упорные) для обтачивания наружных цилиндрических и конических поверхностей; расточные (проходные и упорные) для растачивания сквозных и глухих отверстий; отрезные, резьбовые, фасонные, прорезные для протачивания кольцевых канавок; галтельные для обтачивания переходных радиусных поверхностей между ступенями валов; подрезные для обработки плоских торцевых поверхностей;
  7. по характеру обработки — черновые, получистовые, чистовые.
- К станкам токарной группы относятся: (показать рисунок)

— токарно-винторезные — наружная и внутренняя обработка, нарезание резьбы и др. в условиях единичного производства;

— токарно-револьверные — группы деталей сложной формы из прутка или штучных заготовок с применением большого числа режущего инструмента, закреплённого в револьверную головку. Можно вести параллельную обработку нескольких поверхностей;

— карусельные — крупные тяжёлые заготовки с  $l_3/D_1 = 0,3-0,7$ ;

— многорезцовые токарные полуавтоматы — наружная параллельная обработка поверхностей;

— одношпиндельные токарно-револьверные автоматы для обработки небольших ( $D_3 = 8-31$  мм) заготовок сложной формы. Цикл замкнутый, обработка параллельная. Движения рабочих органов от кулачкового распределительного вала. Крупносерийное производство;

— многшпиндельные автоматы параллельной обработки. Детали средней сложности, одного типоразмера;  $N_{\text{дем}} = N_{\text{ин}}$ , массовое производство.

На вертикальных полуавтоматах, автоматах и карусельных станках заготовки имеют вертикальную ось вращения, на других типах токарных станков — горизонтальную.

Токарные приспособления предназначены для расширения технологических возможностей станков и точности обработки и облегчения условий работы. Приспособления, режущий и вспомогательный инструмент составляют технологическую оснастку станка.

Для установки и закрепления заготовок применяются: кулачковые, поводковые, цанговые и мембранные патроны, центры, хомутики, оправки, планшайбы люнеты и др. (**показать рисунок**)

В двухкулачковых самоцентрирующихся патронах закрепляют фасонные отливки и поковки; в трёхкулачковых самоцентрирующихся — детали круглой шестигранной формы и прутки; в четырёхкулачковых самоцентрирующихся — прутки квадратного сечения, а с индивидуальной регулировкой кулачков — детали прямоугольной и несимметричной формы. Кулачковые патроны выполняются с ручным или механическим приводом зажимов.

При  $l/D = 4-10$  заготовку устанавливают на центрах, а для передачи на неё крутящего момента от шпинделя применяют поводковые устройства. Центровые отверстия с торцов делают специальными центровочными свёрлами. Центры бывают (**см. рисунок**): упорные (с твердосплавными наконечниками); срезанные (когда необходимо подрезать заготовку почти до центра); шариковые (для конических поверхностей); обратные (заготовки малых  $D$ ); вращающиеся, рифлёные и др.

Хомутики предназначены (**см. рисунок**) для передачи вращения от поводкового патрона детали, установленной в центрах. Бывают обычными и самозатягивающимися.

Цанговые патроны применяются для закрепления пруткового материала или зажима деталей по обработанной поверхности. Бывают подающие и зажимные.

Мембранные патроны рожкового (закрепление по наружной поверхности) и чашечного (наружная и внутренняя поверхности) применяют для обработки партии деталей с высокой точностью центрирования.

Заготовки типа колец, втулок, стаканов устанавливаются в оправках — конических, с зажимными упругими элементами, гофрированными втулками, с гидропластмассой и др.

Для установки заготовок с  $l/D \geq 12-15$  в качестве дополнительной опоры применяют неподвижные и подвижные люнеты (см. рисунок).

Неподвижный люнет устанавливается на направляющих станины в центре детали, имеет откидную верхнюю часть, опорные кулачки или ролики. Подвижный — крепится на каретке суппорта и в ходе обработки перемещается вдоль детали.

## 8 Сверление и растачивание

Основное назначение сверления — обработка, т.е. формообразование цилиндрических и прилегающих к ним поверхностей с помощью многолезвийного режущего инструмента (рис.16).

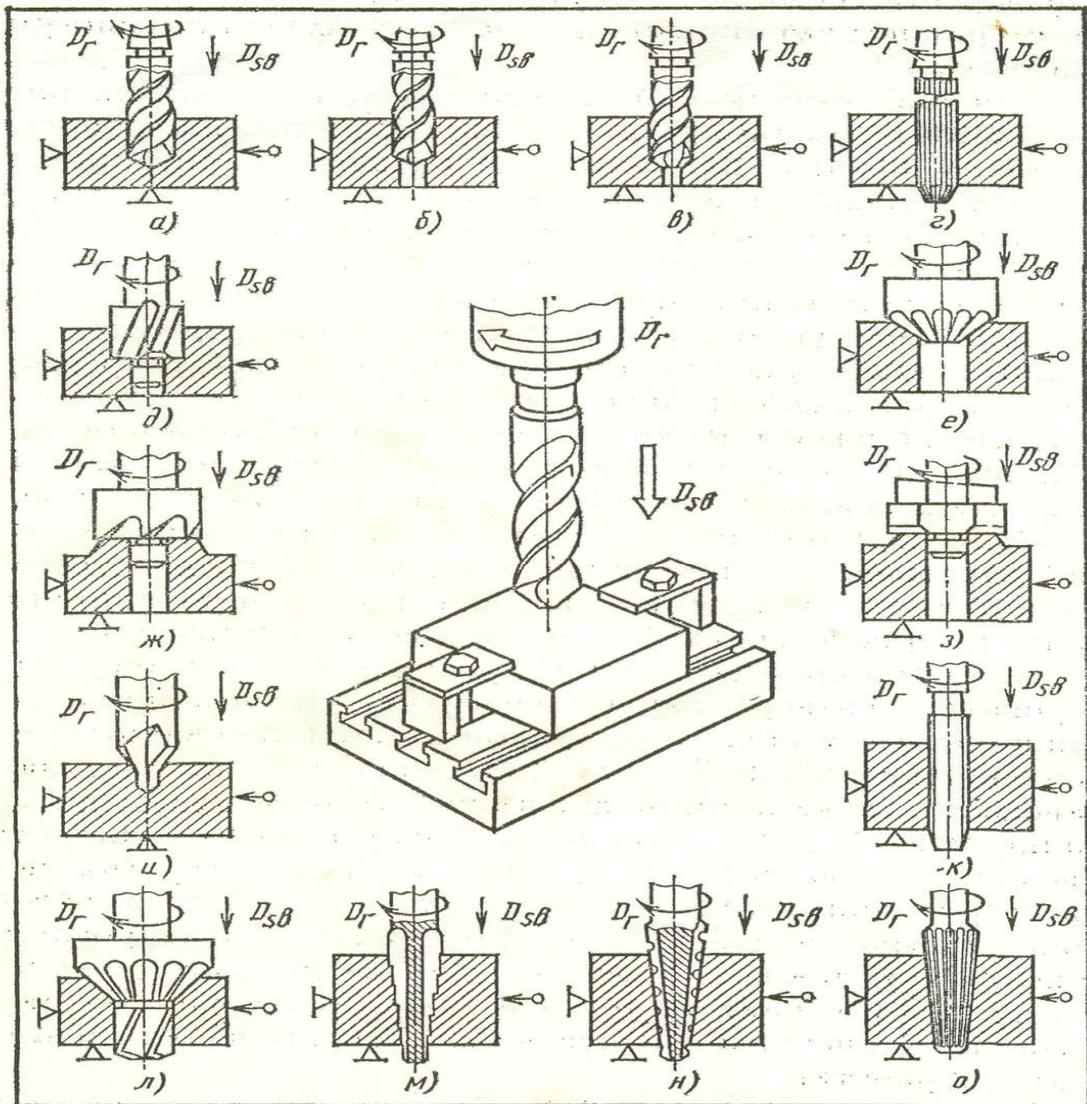


Рис.16. Технологические схемы обработки отверстий

Главное вращение и поступательные движения подачи осуществляет инструмент. Наибольшее применение имеют вертикально-сверлильные станки (настольные  $D_{отв} \leq 12$  мм, крупные — до 100 мм); радиально-сверлильные — обработка крупных заготовок в единичном и мелкосерийном производстве. Станки с ЧПУ одно- и многошпиндельные автоматы и полуавтоматы используются в серийном и массовом производстве. Движение стола (см. рисунок) и салазок происходит по программе, так же как смена инструмента, скоростей, подач и глубины сверления.

Обработка отверстий на сверлильных станках осуществляется:

— сверлами (сверление до  $D \leq 30$  мм и рассверливание  $D > 30$  мм, отверстия в поковках, отливках и т.п.). Бывают спиральные, перовые, шнековые, однокромочные (пушечные) глубокого сверления, кольцевого сверления, центровые, комбинированные и др. Наиболее распространённое спиральное сверло (см. рисунок) состоит из рабочей части, шейки, хвостовика (цилиндрического или конического). Рабочая часть имеет режущую и направляющую части с винтовыми канавками. На рабочей части выделяют 2 главных режущих, вспомогательную, 2 вспомогательные режущие кромки; ленточки, расположенные вдоль винтовых канавок обеспечивают направление сверла при резании. При обработке спиральными свёрлами обеспечивается 12-14 квалитет,  $R_a 12,5$ ; отверстие разбивается на  $1-2\%D_{св}$ ; — зенкерами ( $z = 3-8$ ) — глухие или сквозные отверстия, полученные сверлением, литьём, штамповкой. 9-11 квалитет  $R_a 6,3-3,2$ . Глубина резания при черновом зенкерении  $(0,1-0,15)d_z$ , при чистовом —  $< 0,05d_z$ ; Бывают конические и цилиндрические;

— развёртками (финишная обработка после сверления и зенкерования) с  $z < 4$ . Достигается 6-9 квалитет и  $R_a 0,32-1,25$ . Глубина резания при чистовом развёртывании  $0,1-0,4$  мм (в зависимости от  $d$ ). Бывают конические и цилиндрические;

— зенковками и цековками — многолезвийный инструмент для обработки конических, цилиндрических и торцовых участков отверстий;

— метчиками — нарезание внутренней резьбы. Представляют собой винт с прорезанными канавками, которые образуют режущие кромки.

При совпадении размеров инструмент с коническим хвостовиком устанавливается прямо в шпиндель станка, при меньших — с помощью переходных втулок. С цилиндрическим хвостовиком — в цанговых и других патронах. В станках с инструментальными магазинами — в специальных оправках (унифицированная оправка и инструмент образуют инструментальный блок). Заготовки на сверлильных станках устанавливают с помощью унифицированных и специальных приспособлений (тиски, поворотные столы, прижимные планки, кондукторные устройства и др.).

Растачивание применяют для обработки цилиндрических отверстий, наружных цилиндрических и плоских поверхностей в заготовках корпусных деталей (рис.17).

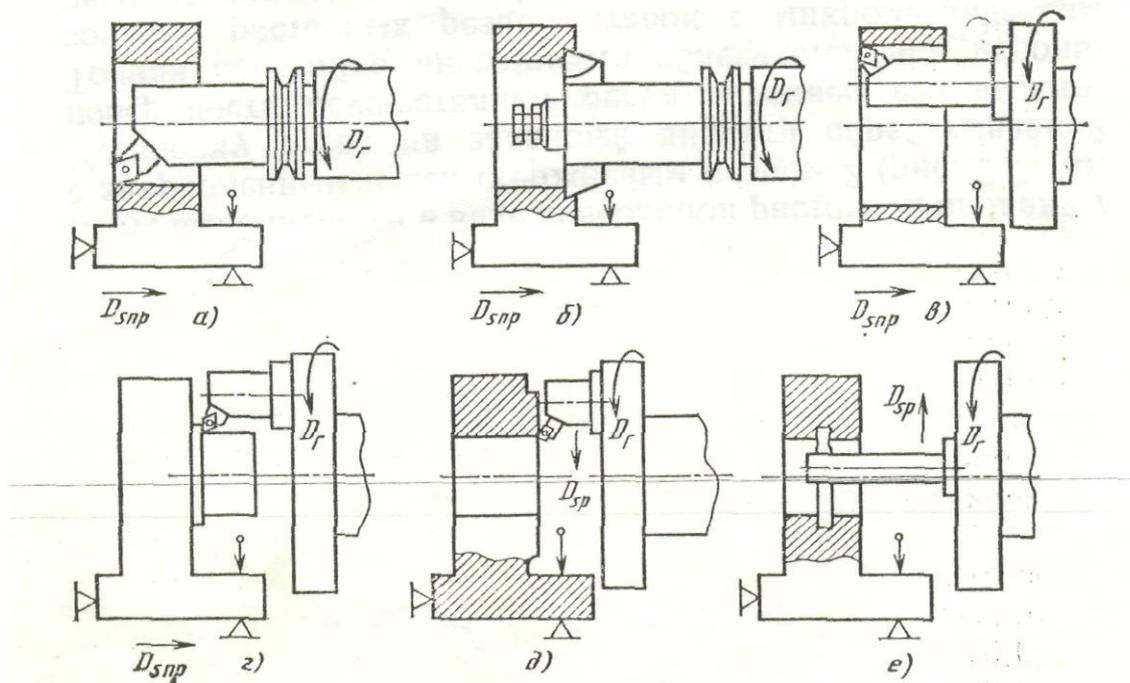


Рис.17. Технологические возможности растачивания

Главное движение — вращение инструмента, подача — инструмент или заготовка. На расточных станках можно так же обрабатывать фасонные поверхности, фрезеровать, нарезать резьбу, сверлить, и т.п. Станки бывают трёх типов: координатно-расточные (высокоточная обработка отверстий при  $20 \pm 1^\circ \text{C}$ ); горизонтально-расточные (корпусные детали) и алмазно-расточные (крупносерийное и массовое производство, автоматический цикл). Горизонтально-расточные — самые распространённые (см. рисунок): по вертикальным направляющим передней стойки перемещается шпиндельная бабка со шпинделем, поворотный стол перемещается по поперечным салазкам и продольным направляющим.

Инструмент: расточные резцы, свёрла, развёртки, фрезы и др. Наибольшее распространение имеет расточный инструмент в виде консольной расточной оправки со стержневым резцом (см. рисунок). Вылет резца обеспечивает размер. Двухрезцовые расточные оправки имеют большую точность (нет изгиба). Цилиндрические и торцевые поверхности больших  $D$  образуют расточными резцами, установленными на планшайбе с радиальным суппортом (см. рисунок). Поверхности со сложным контуром можно образовывать фрезерованием.

Высокая точность размеров (1-10 мкм) обеспечивается точным позиционированием заготовки относительно инструмента. Для этого используются специальные оптические устройства. Наибольшая точность и качество обработки (6-5 кв.,  $R_a 0,32-0,08$ ) обеспечивается на алмазно-расточных станках, в которых режущую часть инструмента изготавливают из керамики и сверхтвёрдых материалов ( $v_{рез} = 100 - 1000 \text{ м/мин}$ ;  $S = 0,01 - 0,15 \text{ мм/об}$ ;  $t = 0,05 - 0,3 \text{ мм}$ ).

## 9 Фрезерование

Высокопроизводительный способ формообразования плоских и фасонных поверхностей (рис.18) по методу касания и копирования многолезвийным инструментом (фрезами).

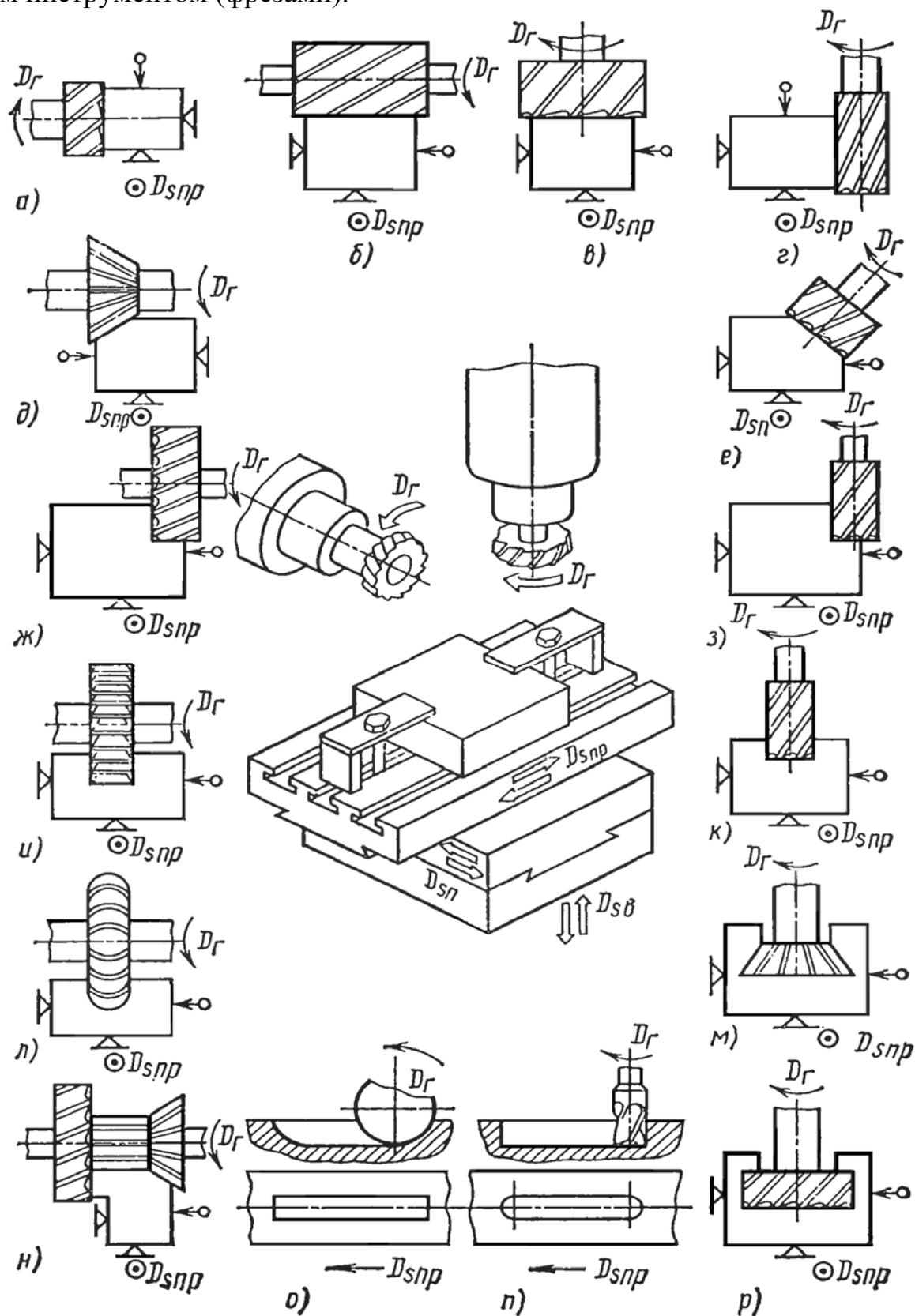


Рис.18. Технологические схемы обработки фрезерованием

Непрерывное главное вращательное движение совершает инструмент, поступательное подачи – заготовка. Процесс резания прерывистый – каждый зуб фрезы находится в контакте с заготовкой только часть оборота. Следствия прерывистости: врезание каждого зуба сопровождается ударами; вибрации в системе СПИД; повышенный износ инструмента; снижение точности и увеличение шероховатости обработанной поверхности.

Метод обеспечивает: на черновых режимах – 11-9 кв.,  $R_z$  40-10; чистовых – 8-6 кв,  $R_a$  1,6-0,8; тонкого фрезерования – 6 кв.,  $R_a$  1,25-0,32.

Основным инструментом для данного вида обработки являются фрезы. Это тело вращения, по периферии или на торце которого расположены режущие элементы – зубья. Каждый можно рассматривать как резец с присутствующими ему геометрическими и конструктивными параметрами. Фрезы различают по:

- расположению зубьев – торцовые, цилиндрические, трехсторонние;
- способу закрепления на станке – насадные, концевые;
- виду обрабатываемой поверхности – угловые, шпоночные, фасонные, пазовые, отрезные, зуборезные и др.;
- расположению зубьев – прямозубые, с винтовым зубом и др.;
- инструментальному материалу – из инструментальных и быстрорежущих сталей, твердосплавные и др.;
- способу закрепления режущих элементов – цельные, с напаянными пластинами, со вставными ножами, с механическим креплением зубьев и др.;
- по виду хвостовика, размеру зубьев и др. параметрам.

# Технология переработки пластмасс

## 1. Состав и физико-химические свойства пластмасс

В зависимости от числа компонентов пластмассы подразделяют на простые (однокомпонентные) и композиционные. Первые состоят из одного компонента – синтетической смолы, вторые – из нескольких составляющих, каждая из которых выполняет определенную роль. Смола является связующим и ее свойства во многом обуславливают физико-механические и технологические свойства пластмассы. Помимо связующего, содержание которого может составлять 30-70 %, в состав пластмасс входят:

- *наполнители* для повышения прочности, теплостойкости, уменьшения усадки и стоимости композиции (древесная мука, очесы хлопка, целлюлоза, бумага, графит, асбест, кварц, стекловолокно и стеклоткань и др.);
- *пластификаторы* (дибутилфталат, касторовое масло и др.), увеличивающие эластичность, текучесть, гибкость и уменьшающие хрупкость;
- *катализаторы* (известь, магнезия и др.), ускоряющие отверждение;
- *стабилизаторы* (ароматические амины, производные фенолов и др.) для замедления процессов деструкции полимерных макромолекул под действием внешних факторов;
- *красители, смазывающие вещества* и др.

При изготовлении газонаполненных пластмасс (поро- и пенопластов) в полимеры вводят газообразователи – вещества, которые при нагревании разлагаются с выделением газообразных продуктов.

К группе пластмасс *низкой прочности* относятся полиэтилены, фторопласты и др. Из полиэтилена изготавливают трубы, изоляторы, элементы гальванических ванн и т.п. Фторопласт имеет высокую химическую и теплостойкости, изоляционные свойства и морозоустойчивость.

Пластмассами *средней прочности* являются фенопласты, полистиролы, полиамиды и др. Термореактивные высокотехнологичные фенопласты широко применяют для изготовления электротехнических деталей. Полистирол, характеризующийся высокими диэлектрическими свойствами, служит для производства элементов радио- и электроаппаратуры. Благодаря сочетанию высоких механической прочности, износо-, коррозионной и химической стойкости полиамиды являются одним из важнейших конструкционных материалов. Изготовленные из капрона, капролона, полиамидных смол зубчатые колеса, подшипники скольжения и другие детали работают более плавно, бесшумно, имеют меньшую массу и стоимость по сравнению с металлическими аналогами.

*Высокопрочными* являются стеклопластики и композиты на полимерной матрице – материалы, состоящие из наполнителя (стеклоткани, сетки, волокна, ленты и т.п. из металлической микропроволоки, карбидов, углерода) и связующего (эпоксидные, кремнийорганические, фенолформальдегидные смолы). В процессе изготовления деталей технологически совмещаются формообразование и получение самого материала. Для получения высоконагруженных деталей небольших размеров применяют термореактивные пресс-

материалы АГ-4С, АГ-4В и др. Широко применяются также термопласты армированные стекловолокном, которое повышает их прочность и теплостойкость в 3-4 раза. Точность деталей из этих материалов обеспечивается низким коэффициентом теплового расширения и малой усадкой.

Основными *технологическими свойствами* пластмасс являются:

1. *Текучесть* – способность материала заполнять форму. Она зависит от вида и содержания в материале смолы, наполнителя, пластификатора, смазочного материала, конструкции пресс-формы, технологических режимов и др. факторов. Для термопластов за показатель текучности принимают индекс расплава – количество материала, выдавливаемого через сопло специального экструдера в единицу времени при определенной температуре и давлении.

2. *Усадка* – абсолютное или относительное уменьшение размеров детали по сравнению с размерами полости пресс-формы. Зависит от физико-химических свойств связующего, количества и природы наполнителя, содержания в нем влаги и летучих веществ, температуры переработки и др. Усадку необходимо учитывать при проектировании пресс-форм.

3. *Скорость отверждения (полимеризации)* – продолжительность перехода реактопласта из вязкотекучего состояния в состояние полной полимеризации. Этот параметр зависит от свойств связующего и температуры переработки. При низкой скорости отверждения увеличивается время выдержки материала в пресс-форме и снижается производительность процесса. Ее повышение может вызвать преждевременную полимеризацию и отдельные участки пресс-формы не будут заполнены.

4. *Термостабильность* – время, в течение которого термопласт выдерживает определенную температуру без разложения. Для материалов с низкой термостабильностью необходимо предусматривать меры, предотвращающие их разложение в процессе переработки (например, увеличивать сечение литников).

В зависимости от физического состояния полимерных материалов, их технологических свойств и других факторов основными способами изготовления деталей из пластмасс являются:

- переработка в вязкотекучем состоянии (прессование, литье под давлением, выдавливанием и т.п.);
- переработка в высокоэластичном состоянии (штамповка и различные методы формовки);
- формообразование жидких полимеров;
- переработка в твердом состоянии резанием и разделительной штамповкой;
- соединение сваркой, склеиванием и другие методы переработки.

## **2. Способы изготовления деталей из пластмасс в вязкотекучем состоянии**

В большинстве случаев детали изготавливают из пластмасс, находящихся в вязкотекучем состоянии, способами прессования, литья, выдавливания.

*Прямое (компрессионное) прессование* — один из основных способов получения деталей из реактопластов. В полость матрицы пресс-формы 8 (рис.1а) загружают предварительно таблетированный или порошкообразный материал 2. При замыкании пресс-формы под действием силы пресса пуансон 1 создает давление на прессуемый материал (рис.1б). Под действием этого давления и теплоты от нагретой пресс-формы материал размягчается и заполняет формообразующую полость пресс-формы. После определенной выдержки пресс-форма раскрывается и с помощью выталкивателя 5 (рис.1в) из нее извлекается готовая деталь 4.

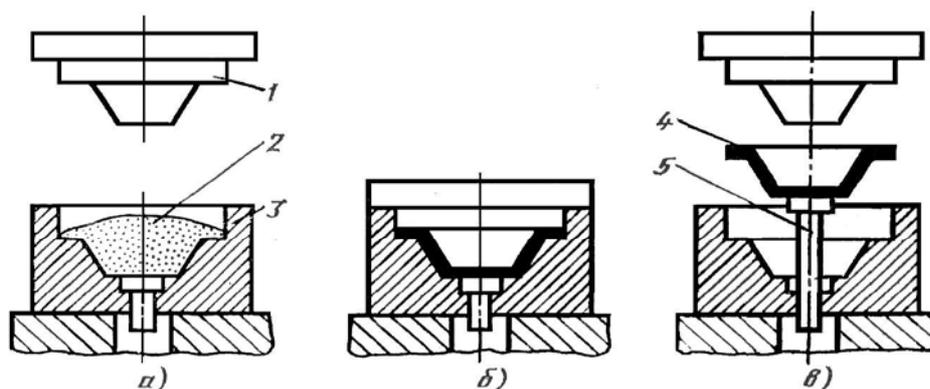


Рис.1. Технологическая схема прямого (компрессионного) прессования

Полимеризация (отверждение) сопровождается выделением летучих составляющих полимеров и паров влаги. Для удаления газов в процессе прессования выполняют подпрессовку – пресс после определенной выдержки переключают на обратный ход, пуансон поднимают на 5-10 мм и выдерживают в таком положении 2-3 с. После этого пресс-форма снова закрывается.

При прессовании крупных толстостенных деталей из материалов с повышенной влажностью подпрессовку проводят дважды.

Температура и давление прессования зависят от вида перерабатываемого материала, формы и размеров изготавливаемой детали. Время выдержки под прессом определяют скорость отверждения и толщина прессуемой детали. Для большинства терморезистивных материалов время выдержки выбирают из расчета 0,5-2 мин на 1 мм толщины стенки. Технологическое время может быть сокращено вследствие предварительного подогрева материала в специальных шкафах. Давление зависит от текучести пресс-материала, скорости отверждения, толщины прессуемых деталей и других факторов.

Нагрев пресс-форм осуществляют обычно электрическим нагревателем. Рабочую температуру в процессе прессования поддерживают постоянной с помощью автоматически действующих приборов. Для загрузки в полость пресс-формы определенного количества пресс-материала используют объемную дозировку или дозировку по массе.

Применяют также поштучную дозировку (загружают определенное число таблеток). Прессование выполняют на гидравлических прессах. При

выпуске большого числа деталей используют прессы, работающие по автоматическому циклу.

Прямым прессованием получают детали средней сложности и небольших габаритных размеров из терморезистивных материалов с порошкообразным и волокнистым наполнителями.

*Литьевое прессование* отличается от прямого тем, что прессуемый терморезистивный материал загружают не в полость пресс-формы, а в специальную загрузочную камеру 2 (рис.2). Под действием теплоты от пресс-формы прессуемый материал превращается в вязкотекучее состояние и под давлением со стороны пуансона 1 выжимается из загрузочной камеры 2 в полости матрицы пресс-формы через специальное отверстие в литниковой плите 3. После отверждения пресс-форму разъединяют, и готовые детали 4 извлекают из матрицы 5.

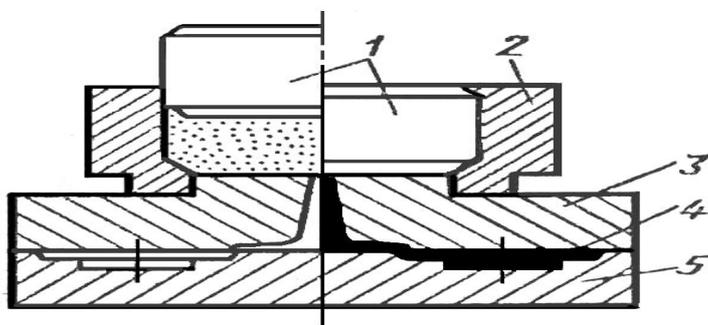


Рис.2. Технологическая схема литьевого прессования

Литьевое прессование позволяет получать детали сложной формы с глубокими отверстиями, в том числе резьбовыми. В процессе перетекания через литниковое отверстие пресс-материал прогревается равномерно, что обеспечивает более равномерную структуру прессуемой детали. При литьевом прессовании отпадает необходимость в подпрессовках, т.к. образующиеся газы могут выходить в зазор между литниковой плитой и матрицей.

Недостатком литьевого прессования является повышенный расход пресс-материала, так как в загрузочной камере и литниковых каналах остается часть необратимого пресс-материала. Кроме того, пресс-формы для литьевого прессования сложнее по конструкции и дороже пресс-форм для прямого прессования.

Для прессования деталей применяют одно- и многогнездные пресс-формы. Многогнездные пресс-формы применяют для получения деталей простой формы и небольших габаритных размеров.

Форма и размеры прессуемых деталей зависят от формообразующих деталей пресс-формы, к точности и качеству поверхностей которых предъявляют высокие требования. Формообразующие детали пресс-форм изготавливают из высоколегированных или инструментальных сталей с последующей закалкой до высокой твердости. Для повышения износостойкости и улучше-

ния внешнего вида прессуемых деталей формообразующие пресс-формы полируют и хромируют.

Листы и плиты из термореактивных материалов прессуют пакетами на прессах. Заготовки материала (из хлопчатобумажной ткани, стеклоткани и т. д.) пропитывают смолой и укладывают между горячими плитами прессов. Число уложенных слоев ткани определяет толщину листов и плит. Габаритные размеры прессуемых деталей ограничиваются мощностью гидравлического пресса. Трубы, прутки круглого и фасонного сечения получают прессованием термореактивного материала через калиброванное отверстие пресс-формы.

*Литье под давлением* является высокопроизводительным и эффективным способом массового производства деталей из термопластов. Перерабатываемый материал из загрузочного бункера 8 (рис.3) подается дозатором 9 в рабочий цилиндр 6 с электронагревателем 4. При движении поршня 7 определенная доза материала поступает в зону обогрева, а расплавленный материал через сопло 3 и литниковый канал — в полость пресс-формы 1, в которой формируется изготавливаемая деталь 2. В рабочем (нагревательном) цилиндре на пути потока расплава установлен рассекаватель 5, который заставляет расплав протекать тонким слоем у стенок цилиндра. Это ускоряет прогрев и обеспечивает более равномерную температуру расплава. При движении поршня в исходное положение очередная порция материала с помощью дозатора 9 попадает в рабочий цилиндр. Для предотвращения нагревания выше 50-70 °С в процессе литья пресс-форма охлаждается проточной водой. После затвердевания материала пресс-форма размыкается, и готовая деталь с помощью выталкивателей извлекается из нее. Широко применяют также литьевые машины с червячной пластикацией материала.

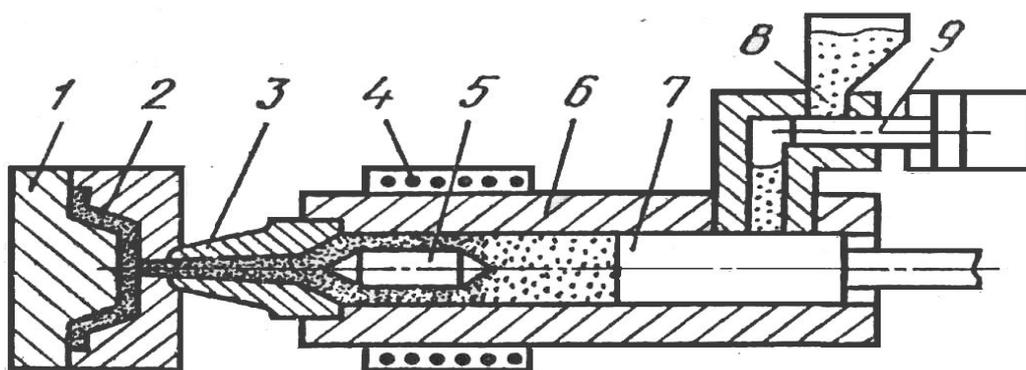


Рис.3. Технологическая схема литья под давлением

Литьем под давлением получают детали сложной конфигурации с различными толщинами стенок, ребрами жесткости, резьбами и т. д. Применяют литьевые машины, позволяющие механизировать и автоматизировать процесс получения пластмассовых деталей. Производительность литья в 20-40 раз выше производительности прессования, поэтому литье под давлением является одним из основных способов переработки пластических масс в де-

тали. Качество отливаемых деталей зависит от температур пресс-формы и расплава, давления, продолжительности выдержки под давлением и т. д.

При безлитниковом литье под давлением применяют литники специальной конструкции с диаметром отверстия 0,8-1,5 мм и высотой канала 0,8—1,2 мм. В процессе выталкивания готовой детали происходит ее отрыв в месте “точечного” литника. В отдельных конструкциях пресс-форм после окончания литья литник автоматически отводится, и литниковая система отделяется от готовой детали. Полная автоматизация безлитникового литья резко повышает производительность процесса получения деталей.

Литьем под давлением получают также детали из отдельных терморезистивных материалов (с хорошей вязкотекучестью).

*Центробежное литье* применяют для получения крупногабаритных и толстостенных деталей (кольца, шкивы, зубчатые колеса и т. п.). Центробежные силы прижимают залитый в форму полимерный материал к внутренней поверхности формы. После затвердевания готовую деталь извлекают из формы и заливают новую порцию расплавленного металла.

*Выдавливание (или экструзия)* отличается от других способов переработки термопластов непрерывностью, высокой производительностью и тем, что на одном и том же оборудовании можно получить разнообразные детали (рис.21.5). Выдавливание осуществляют на специальных червячных машинах-автоматах. Перерабатываемый термопластичный материал в виде порошка или гранул из бункера 1 (рис.21.5а) попадает в рабочий цилиндр 3, где захватывается вращающимся червяком 2. Червяк, имеющий нарезку с изменяющимся шагом и глубиной, продвигает материал, перемешивает его и уплотняет. В результате передачи теплоты от нагревательного элемента 4 и выделения теплоты при трении частиц материала друг о друга и о стенки цилиндра перерабатываемый материал переходит в вязкотекучее состояние и непрерывно выдавливается через калиброванное отверстие головки 6. Расплавленный материал проходит через радиальные канавки оправки 5. Оправку применяют для получения отверстия при выдавливании труб.

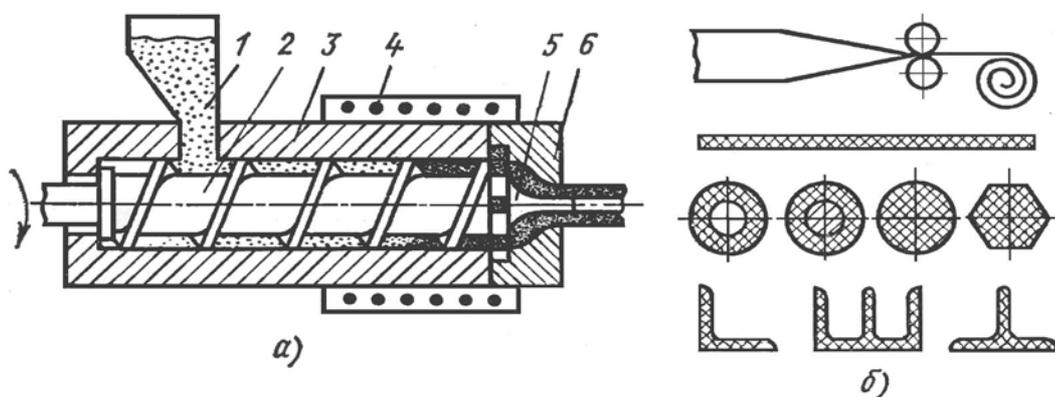


Рис.4. Непрерывное выдавливание (экструзия): а – схема установки; б – профили получаемых деталей

Непрерывным выдавливанием можно получить детали различного профиля (рис.21.5б). При получении пленок из термопластичных мягких материалов (полиэтилена, полипропилена и др.) используют способ раздува. Расплавленный материал продавливают через кольцевую щель насадной головки и получают заготовку в виде трубы, которую сжатым воздухом раздувают до тех пор, пока ее диаметр не достигнет требуемого значения. После охлаждения пленку подают на намоточное приспособление и сматывают в рулон. Способ раздува позволяет получить пленку толщиной до 40 мкм. Для получения листового материала используют щелевые головки шириной до 1600 мм. Выходящее из щелевого отверстия полотно проходит через валки гладильного и тянущего устройства. Здесь же происходит предварительное охлаждение листа, окончательное охлаждение — на рольгангах. Готовую продукцию сматывают в рулоны или режут на листы определенных размеров с помощью специальных ножниц.

Для нанесения защитных покрытий из полимерных материалов через насадную головку пропускают проволоку или кабель. Размеры и профиль выдавливаемых деталей определяются конструкцией насадной головки и оправки. В зависимости от типа перерабатываемого термопласта и геометрической формы выдавливаемых профилей применяют машины с одним или двумя червяками. Червяки могут быть одно- или многозаходные, с постоянным шагом или переменным, с постоянной глубиной нарезки или изменяющейся. В машинах с частотой вращения червяка до 1000 мин<sup>-1</sup> материал расплавляется только вследствие трения частиц порошка между собой, трения о стенки цилиндра и червяка.

Детали для широкого потребления (тара, емкости и т. д.) из термопластичных материалов изготавливают различными способами формования (раздув сжатым воздухом, ротационное литье, литье под низким давлением и т. д.). Используют высокопроизводительное и автоматизированное технологическое оборудование.

### **3. Обработка резанием заготовок из пластмасс**

В отдельных случаях экономически целесообразно изготавливать пластмассовые детали обработкой резанием. В качестве заготовок в этом случае используют листы, трубы, прутки, профили различного сечения. Иногда возникает необходимость в дополнительной обработке заготовок, полученных литьем, прессованием и другими методами формообразования. В зависимости от способа воздействия на заготовку, используемого оборудования и инструмента применяют разделительную штамповку и обработку резанием.

Основными операциями разделительной штамповки при изготовлении деталей из листовых материалов являются вырубка, пробивка, резка. Операции разделительной штамповки выполняют с подогревом заготовки или без него. На поверхности среза при штамповке возможно образование трещин и сколов. Для предотвращения этих дефектов применяют двухступенчатые пуансоны. С помощью пуансона меньшего диаметра получают предварительное отверстие. Основной (калибрующий) большего диаметра пуансон окон-

чательно формирует отверстие. В качестве оборудования используют механические и гидравлические прессы.

Обработку резанием применяют в качестве отделочной операции после предварительного формообразования или как самостоятельный способ изготовления деталей из поделочных материалов.

Характерной особенностью прессования, литья и других способов получения пластмассовых деталей является значительное колебание усадки при затвердевании материала. Это снижает точность получаемых деталей. Для достижения заданной точности применяют дополнительную обработку резанием. Ее используют, кроме того, для удаления литниковых систем, заусенцев. Однако при механической обработке нарушается поверхностная смоляная пленка. Это приводит к снижению химической стойкости и повышению влагопоглощения пластмассовых деталей, поэтому обработку резанием следует применять только в необходимых случаях.

Особенности строения и физико-механические свойства пластмасс существенно влияют на технологию их обработки, конструкцию режущего инструмента и приспособлений. Пластмассы имеют более низкие механические характеристики, чем металлы. Эту особенность можно было бы использовать для повышения скорости резания, однако низкая теплопроводность пластмасс приводит к концентрации теплоты, образующейся в зоне резания. В результате этого происходит интенсивный нагрев режущего инструмента, размягчение и оплавление термопластов, обугливание или прижог реактопластов в зоне резания. При обработке деталей из термопластов максимальная температура процесса не должна превышать 60-120 °С, деталей из реактопластов — 120-160 °С.

Образующаяся теплота при обработке пластмасс отводится в основном через инструмент.

Стойкость режущего инструмента различна в зависимости от типа материала обрабатываемой заготовки. Незначительный износ можно наблюдать при обработке заготовок из термопластов без наполнителей. При обработке заготовок из термореактивных материалов, особенно со стеклянными и другими подобными наполнителями, стойкость режущего инструмента значительно снижается. Заготовки из термопластов (органического стекла, полистирола, фторопласта и т. д.) можно обрабатывать режущими инструментами из углеродистых и быстрорежущих сталей. Материалы с высокотвердыми наполнителями обрабатывают инструментами, оснащенными твердым сплавом, алмазом, эльбором.

При обработке термореактивных материалов со слоистыми и волокнистыми наполнителями охлаждающие жидкости не применяют, так как возможно набухание поверхностей материалов. Стружкообразование при обработке термореактивных пластмасс характеризуется силами резания, меньшими, чем силы резания при обработке заготовок из металлов. Образующая при обработке термореактивных пластмасс элементная стружка плохо сходит с передней поверхности инструмента, поэтому у канавок для отвода стружки увеличивают объем, и их полируют во избежание прилипания стружки. Ре-

жущий инструмент характеризуется большими значениями переднего и заднего углов. Для обработки пластмассовых заготовок используют специальное или универсальное металлорежущее оборудование.

#### 4. Технологические требования, предъявляемые к конструкциям деталей из пластмасс

При конструировании деталей из пластмасс необходимо учитывать особенности технологического процесса, физико-механические и технологические свойства перерабатываемых материалов. Следует всегда стремиться к упрощению конструкции детали как по технологическим, эксплуатационным, так и экономическим соображениям. Чем проще конструкция детали, тем дешевле оснастка, выше производительность труда, ниже себестоимость, выше качество и точность получаемых деталей. Габаритные размеры деталей определяют мощность оборудования (пресса, литейной машины и т. д.). Оптимальная толщина стенок 0,5-2,0 мм для деталей из термопластов и 2-6 мм — для деталей из реактопластов. Изготовление деталей сопровождается большой усадкой. В конструкциях не допускается значительная разность толщин стенок (рис.21.6), так как она вызывает коробление деталей и образование трещин. Отношение толщин стенок не должно превышать 1 : 3. Минимальные радиусы сопряжения для деталей, полученных прессованием, составляют 1-2 и 0,5-1 мм для деталей, полученных литьем под давлением.

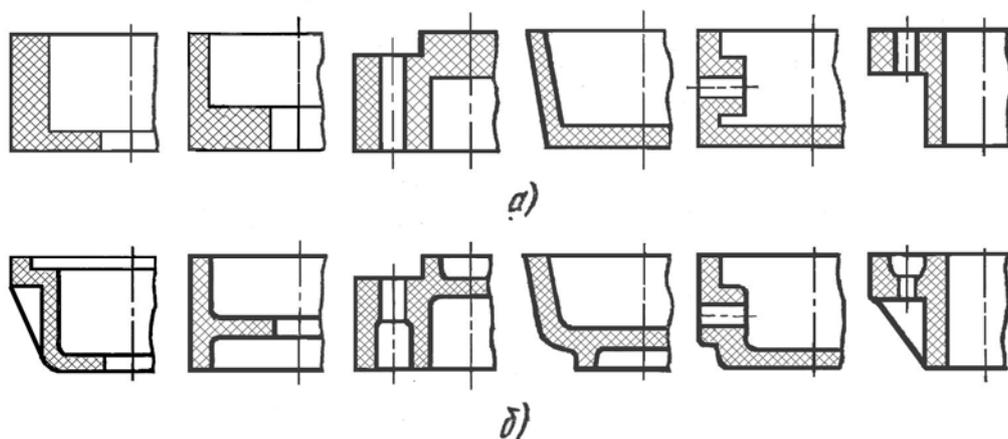


Рис.5. Конструкции деталей из пластмасс: а – технологичных; б – нетехнологичных

В пластмассовых деталях отверстия получают соответствующими стержнями в пресс-формах. Наличие стержней является основной причиной появления напряжений в деталях, так как они затрудняют свободную усадку материала. Отверстия лучше располагать не в сплошных массивах (рис.21.6), а в специальных бобышках с тонкими стенками (рис.21.6). Ребра увеличивают жесткость и прочность конструкций, позволяют уменьшить сечения от-

дельных элементов детали, снизить напряжения в местах сопряжения стенок различного сечения. Для малогабаритных деталей ребрами жесткости могут быть выступы или впадины.

Правильная конструкция опорной поверхности повышает жесткость всей конструкции, особенно в случае крупных корпусных деталей. Для этого сплошные опорные поверхности необходимо заменять поверхностями с выступающими буртиками. Необходимо предусматривать технологические уклоны в конструкциях деталей, получаемых прессованием и литьем под давлением для облегчения извлечения их из пресс-формы. Детали с боковыми выступами следует конструировать так, чтобы обеспечить их свободное извлечение из пресс-формы и не изготавливать сложных разборных пресс-форм.

Литьем под давлением и прессованием можно получать в деталях резьбу, не требующую дальнейшей обработки. Минимально допустимый диаметр резьбы для деталей из термопластов и пресс-порошков равен 2,5 мм, для волокнистых материалов — 4 мм.

Армирование значительно расширяет область применения пластмассовых деталей. Например, в электро- и радиопромышленности прессованием и литьем под давлением получают электрические разъемники, колодки, панели и т. д. Это позволяет резко (в 10-100 раз) сократить трудоемкость получения таких деталей по сравнению с трудоемкостью получения аналогичных конструкций, собранных из отдельных элементов.

Армирование позволяет также повысить точность и прочность пластмассовых деталей. Арматуру в виде винтов, гаек, штырей закрепляют с помощью кольцевых выточек, буртиков или канавок. Для предотвращения проворачивания на наружных поверхностях этих деталей выполняют рифления, насечку или плоские грани. Мелкую арматуру в виде пластинок (клеммы электрических разъемников) закрепляют с помощью боковых вырезов или отверстий.

## Электрофизическая обработка

К электрофизическим относятся методы обработки, заключающиеся в изменении формы, размеров и свойств заготовки с применением электрических разрядов, энергии ультразвуковых колебаний, электронного или оптического излучения, плазменной струи.

### 1. Электроэрозионная обработка

Электроэрозионная обработка основана на разрушении материала под действием тепла, вызываемого импульсными электрическими разрядами, возбуждаемыми между электропроводной заготовкой и электродом-инструментом (рис.1). Разработана Б.Н.Лазаренко.

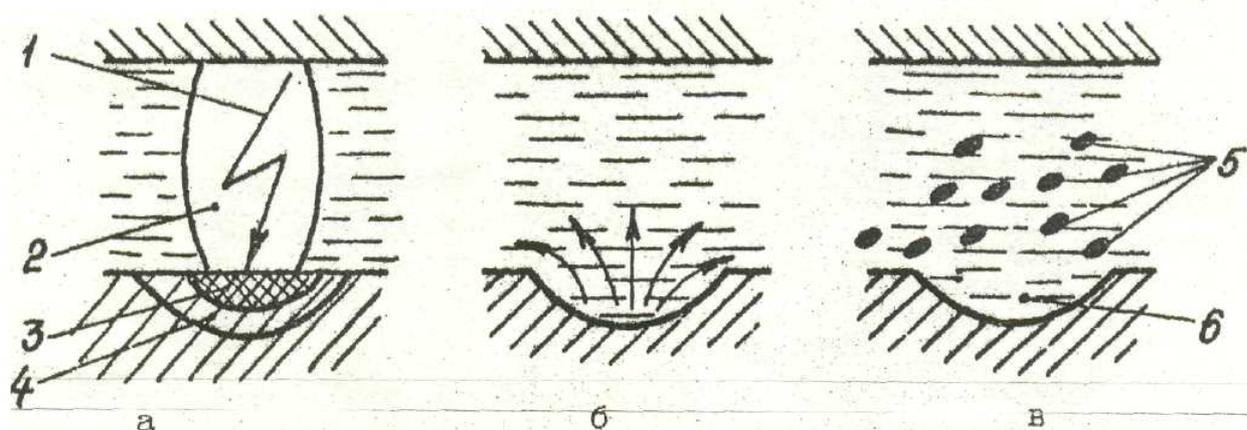


Рис.1. Стадии электроэрозионной обработки: а – прохождения импульса; б – выброса материала; в – стационарного процесса. 1 – газовая полость; 2 – канал проводимости; 3, 4 – зоны испарения и плавления; 5 – гранулы застывшего металла; 6 – эрозионная лунка

Может проводиться в электроискровом (искровые разряды от РС-генератора) и электроимпульсном (от специального генератора импульсов) режимах, которые используют одно явление – электрическую эрозию.

Различают несколько технологических схем электроэрозионной обработки:

1. *Прошивание* – удаление металла из полостей, углублений, отверстий и наружных поверхностей. К этому методу относятся прямое копирование (электрод-инструмент находится над заготовкой) и обратное копирование (заготовка располагается над электрод-инструментом). В обоих случаях (см. рис.2а,б) электрод-инструмент 1 поступательно перемещается к заготовке 2 со скоростью  $V$ . Оба электрода помещены в ванну 3, заполненную диэлектрической жидкостью 4. Продукты обработки 5 выбрасываются в межэлектродный промежуток (во второй схеме этот процесс облегчается).
2. *Электроэрозионное шлифование* (см. рис.2е). Металлический электрод-инструмент 1 в форме диска совершает поступательное и вращательное

3. движение к заготовке 2, которая также может вращаться. Жидкость подают поливом из насадки 3 (при небольших размерах заготовки – обработка в ванне с диэлектрической жидкостью). Может быть встречным и попутным.
4. *Разрезание профильным и непрофильным инструментом* включает отрезание и вырезание (получение непрямолинейного контура). При отрезании профильный электрод-инструмент 1 в форме диска или пластины перемещается к заготовке 2 и в плоскости его вращения вдоль детали. При вырезании инструментом является круглая проволока диаметром 0,02-0,3 мм или стержень, которые могут перемещаться в различных направлениях в любой части заготовки. Для устранения влияния износа. Электрод-инструмент на точность паза проволоку перемаывают вдоль паза. В обоих случаях обработка идет в ванне с диэлектрической жидкостью (см. рис.2в,д).
5. *Электроэрозионное упрочнение*, включающее легирование и наращивание поверхности, осуществляется на воздухе. Частицы расплавленного металла инструмента оседают на поверхности заготовки, образуя на ней слой сплава, насыщенного легирующим компонентом (из электрод-инструмента или состава рабочей среды). Кроме того, этот слой закален до высокой твердости, то есть имеет повышенную износостойкость.

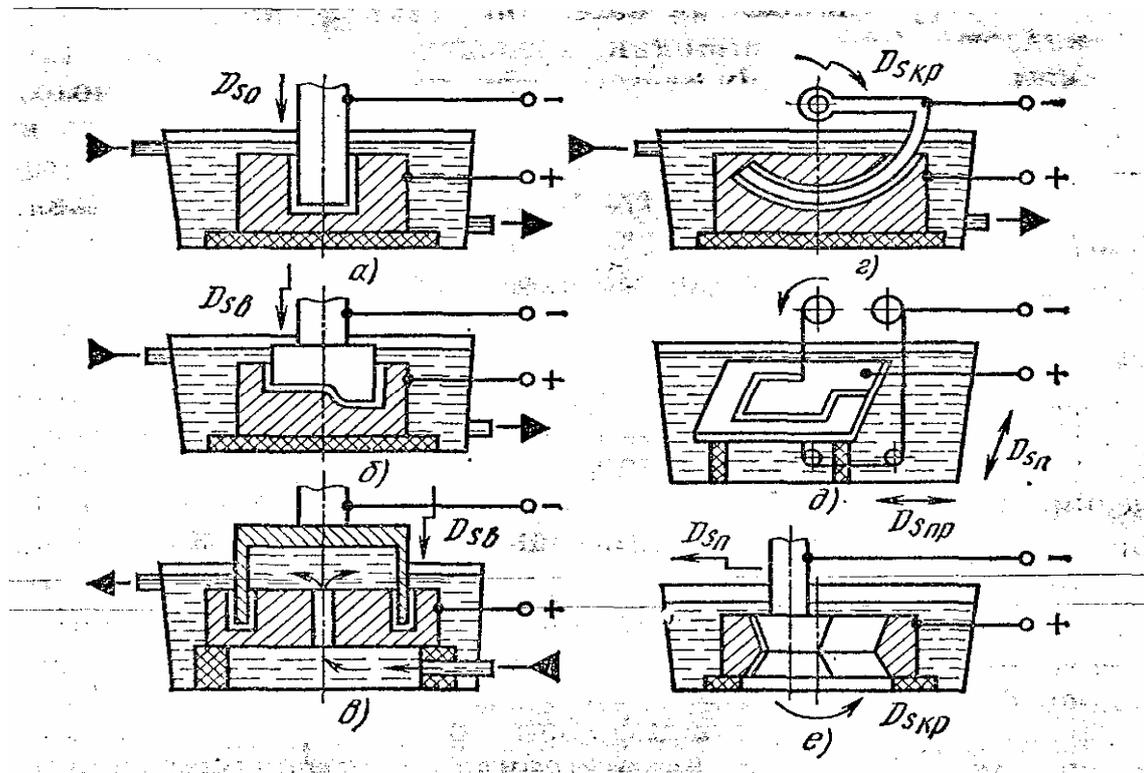


Рис.2. Схемы электроэрозионной обработки: а, б – прошивание отверстий и полостей; в – то же по способу трепанации; г – прошивание отверстий с криволинейными осями; д – вырезание; е – внутреннее шлифование

Электроэрозионная обработка применима для токопроводящих материалов с любыми механическими свойствами. Ее производительность зависит от

материала заготовки, рабочей жидкости, материала электрод-инструмента, электрического режима, площади и формы обработанных поверхностей и других факторов. Скорость съема материала достигает 0,2-12мм/мин; точность обработки 0,01-0,2мм; шероховатость  $R_a = 50-0,2$  мкм.

При электроэрозионной обработке используются импульсы тока с  $U_{\max} = 50-300$  В;  $I_{\max} = 1-10^3$  А,  $W_u = 10^{-5}-100$  Дж, длительностью  $10^{-1}-10^{-7}$  с и частотой  $50-10^6$  Гц.

В качестве материалов электрод-инструмента применяют: медь, латунь, графит, чугун, алюминиевые сплавы и порошковые композиционные материалы; рабочими жидкостями являются продукты переработки нефти. Станки для электроэрозионной обработки делятся на копировально-прошивочные, обкатные, вырезные, электроконтактные и электроэрозионные шлифовальные.

Электроэрозионная обработка применяется для изготовления полостей ковочных и вытяжных штампов, пресс- и литейных форм, инструмента, рабочих частей вырубных штампов и т.п.

## 2. Ультразвуковая обработка

Различают: ультразвуковую размерную обработку; ультразвуковую интенсификацию процессов резания; ультразвуковое упрочнение; ультразвуковую очистку и ультразвуковую обработку свободным абразивом мелких деталей.

1. *Ультразвуковая размерная обработка* применяется для формообразования сложных поверхностей в деталях из твердых хрупких материалов (стекла, керамики, полупроводников, алмаза и т.д.), обработка которых другими методами затруднена. Сущность ультразвуковой размерной обработки заключается в направленном разрушении обрабатываемого материала от ударов абразивных зерен, находящихся между поверхностями заготовки и инструмента, колеблющихся с частотой 18-25 кГц. Зерна абразива внедряются в материал заготовки и выкалывают его микрочастицы. Ультразвуковой инструмент прижимается к обрабатываемой поверхности с силой  $P_{cm} = 0,5-50$  Н. Материал снимается наиболее интенсивно в направлении удара. На рис.3а показана схема прошивания отверстий: инструмент 3 соединен с ультразвуковым преобразователем 1 через концентратор 2. Абразивные зерна 4 заполняют зазор между инструментом, имеющим продольную подачу, и заготовкой 5. Абразив вводится в зону обработки в виде абразивной суспензии, которая способствует также удалению продуктов разрушения материалов. В качестве абразива применяют порошки карбида бора, кремния, алмаза, электрокорунда, в качестве несущей жидкости – воду. Инструменты изготавливают из инструментальных сталей.

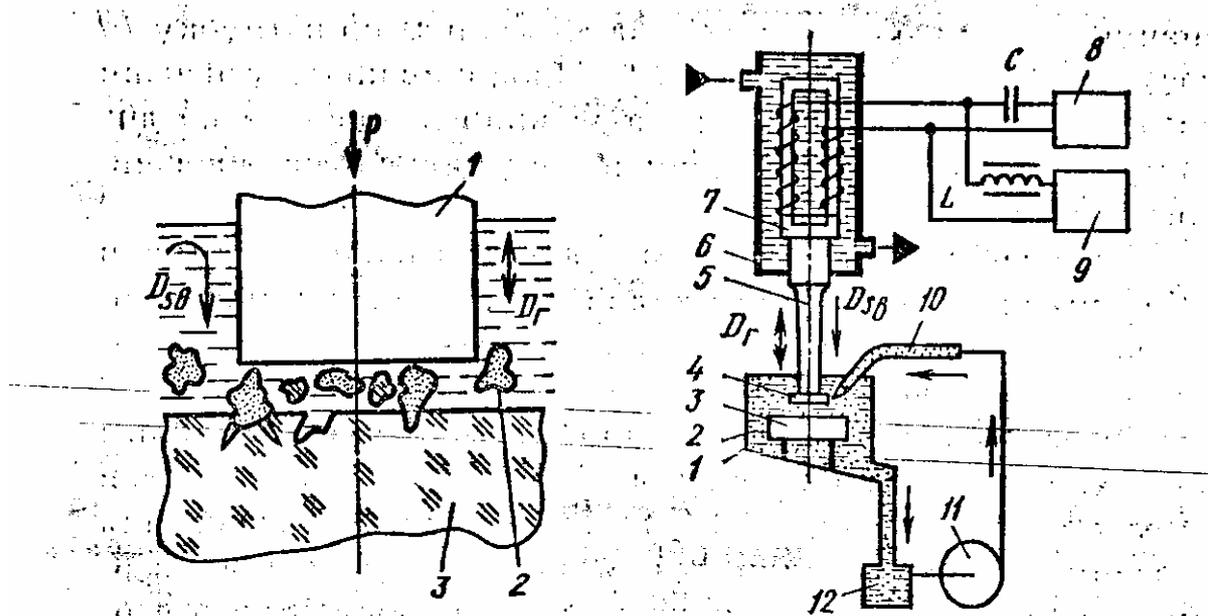


Рис.3. Схема разрушения обрабатываемого материала при УЗ-обработке и основные узлы УЗ-станка

Из ранее названных материалов этим методом изготавливают детали полупроводниковых и оптических приборов, резонаторы, фильтры, изоляторы, излучатели и т.п. Из твердых сплавов получают пресс-формы и штампы, фильеры, волокна, фасонные резцы, режут заготовки, проводят нарезание резьб, фрезерование, гравирование и др.

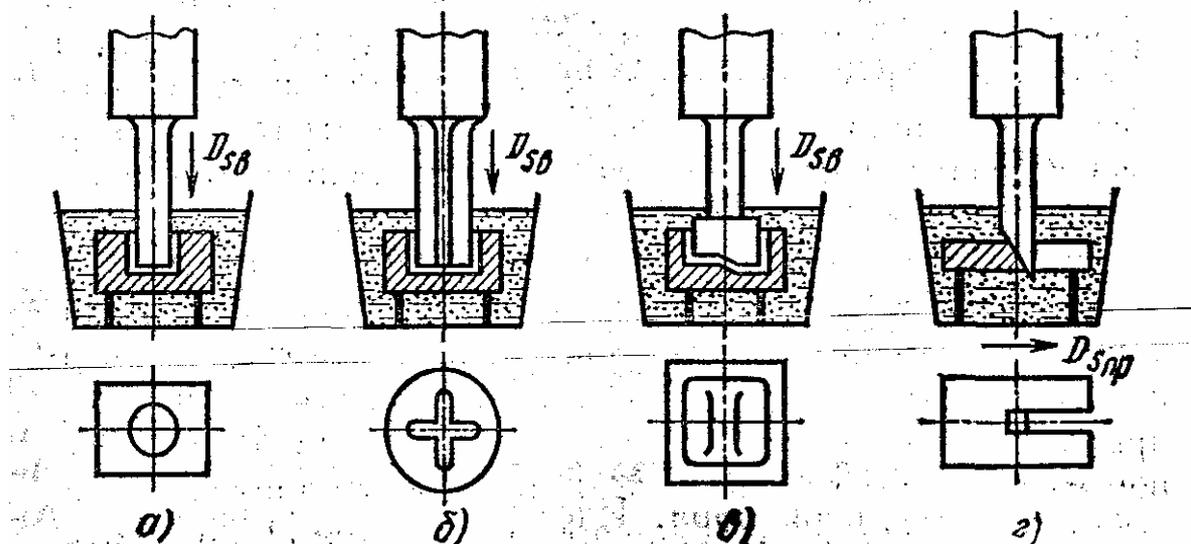


Рис.4. Основные схемы размерной УЗ-обработки: а, б – прошивание сквозных отверстий с любым поперечным профилем; в – получение фасонных полостей; г – резка профильным инструментом

Производительность ультразвуковой размерной обработки зависит от свойств заготовки, зернистости и материала абразива, состава суспензии и способа ее подвода в зону обработки, амплитуды и частоты колебаний инст-

румента, подводимой к нему мощности, площади и глубины обработки и др. Достигаемая точность размеров 0,005 и 0,02 мкм.

Оборудованием ультразвуковой размерной обработки являются: переносные малогабаритные станки малой мощности и стационарные универсальные станки с вертикальным расположением оси акустической головки. Последние получили наибольшее применение. Они состоят (рис.3б) из генератора, акустической головки с ультразвуковым преобразователем, механизмов подачи головки и создания нагрузки инструмента на заготовку, стола для закрепления деталей, системы подвода абразивной суспензии, устройства для измерения глубины обработки.

2. При *интенсификации* процессов резания на режущий инструмент 2 (см. рис.4в) подаются ультразвуковые колебания от концентратора 3, соединенного с ультразвуковым преобразователем 1. Инструмент имеет подачу, а заготовка 1 - подачу и вращение. Способ используется при обработке резанием, шлифованием, долблением заготовок из вязких и труднообрабатываемых материалов для повышения производительности, качества поверхности и снижения сил резания и крутящего момента.
3. *Ультразвуковое упрочнение* – это чистовая обработка, при которой (см. рис.4г) ультразвуковой инструмент 2 выполнен в виде шарика, связанного жестко или нежестко с преобразователем 4 через концентратор 3. Шарик прижимается с небольшим усилием к вращающейся заготовке 1. Ультразвуковые колебания значительно снижают сопротивление пластической деформации, то есть улучшают качество поверхностного слоя заготовки.

### 3. Лазерная обработка

Основана на применении мощного светового потока, вызывающего нагрев, плавление или испарение обрабатываемого материала. Средняя плотность энергии в поперечном сечении луча до  $10^{14}$  Вт/см<sup>2</sup>. Для размерной обработки толстых заготовок требуется  $10^7$ - $10^8$  Вт/см<sup>2</sup>, для сварки и резки тонких пленок - менее  $10^6$  Вт/см<sup>2</sup>. Для технологических целей применяют твердотельные и газовые лазеры, работающие в импульсном и непрерывном режимах с длиной волны излучения 0,4-10,6 мкм. Средняя мощность импульсного излучения твердотельных лазеров сотни киловатт. Для газовых лазеров в непрерывном режиме - более 6-10 кВт.

Лазерный луч применяют для *нагрева* с целью поверхностной термообработки массивных заготовок, отжига фольги; лазерного скрайбирования хрупких материалов; *плавления* при локальном переплаве поверхностных слоев, сварке металлов и неметаллов (изготовление ИС, электронно-лучевых приборов, деталей машин, деталей из стекла и керамики), *резки* и размерной обработки, прошивания отверстий и т.п. Лазерным методом изготавливают отверстия диаметром от  $10^{-3}$  до 10 нм, глубиной 15 мм, в труднообрабатываемых металлических сплавах, алмазах, ферритах, керамике, применяемых

в волокнах, фильерах, форсунках, часовых камнях, магнитных запоминающих устройствах, подложках ИС и т.п.

Достижима точность диаметра 9-11 квалитета, продольных размеров - 11-13 квалитета,  $R_a = 2,5-0,32$  мкм.

При резке металлов и неметаллов на  $CO_2$  и твердотельных лазерах для повышения эффективности процесса применяют наддув в зону резания активного или нейтрального газа. Газолазерная резка позволяет разрезать неметаллические материалы толщиной 20-50 мм, металлы – 13-15 мм при ширине реза 0,1-1 мм. Скорость резки прямо пропорциональна мощности излучения, обратно пропорциональна толщине материала, его теплопроводности и площади фокального пятна. Так, установка «Катунь» с  $W=800$  Вт обеспечивает скорость резания 20 м/мин.

Лазерную термообработку можно проводить для отдельных зон поверхности, что позволяет избирательно термоупрочнять участки изделия. По сравнению с токами высокой частоты не требуется изготавливать специальный индуктор для каждой детали, увеличивает твердость стали и чугуна в 3-5 раз, что резко увеличивает износостойкость, повышает производительность на 70-90%.

#### 4. Электронно-лучевая обработка

При электронно-лучевой обработке используется тепловая энергия, выделяющаяся при столкновении ускоренных электронов с обрабатываемым материалом. Процесс осуществляется в вакууме при плотностях энергии  $10^3 - 10^9$  Вт/см<sup>2</sup> при диаметре электронного луча 0,5-500 мкм.

Преимущества метода: возможность широкого регулирования режимов, пригодность для обработки любых материалов; отсутствие загрязнений; высокий КПД (до 98%); возможность автоматизации.

Недостатки: необходимость защиты от рентгеновского излучения, высокая стоимость и сложность оборудования, необходимость вакуума.

Основной частью электронно-лучевых установок является *электронная пушка*, в которой формируется электронный луч и находятся устройства для управления им. Формирование луча происходит в течение следующих стадий: получение свободных электронов, их ускорение электрическим полем, фокусировка пучка, отклонение луча для обеспечения требуемой траектории его движения по обрабатываемой поверхности. Устройство электронной пушки на рис.5 .

Для технологических целей применяют электронно-лучевые установки с ускоряющим напряжением  $U_a = 80-150$  кВ, током луча  $I_n = 0,3-20$  мА,  $W_n = 1$  кВт.

В электронно-лучевую обработку входят:

- *плавление* (локальный переплав, плавка в вакууме, сварка);
- *испарение* (испарение в вакууме, размерная электронно-лучевая обработка);

- локальная термообработка.

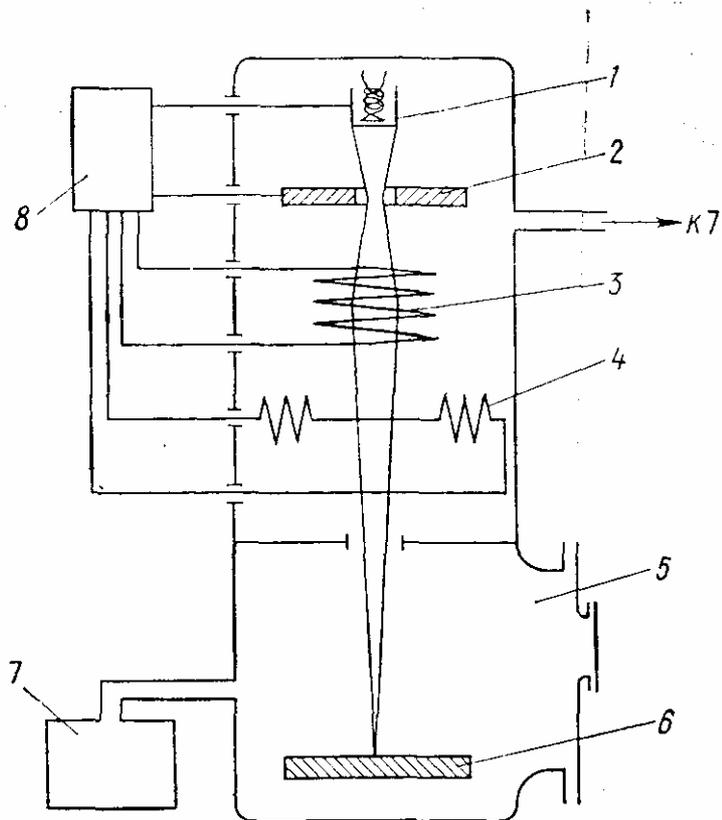
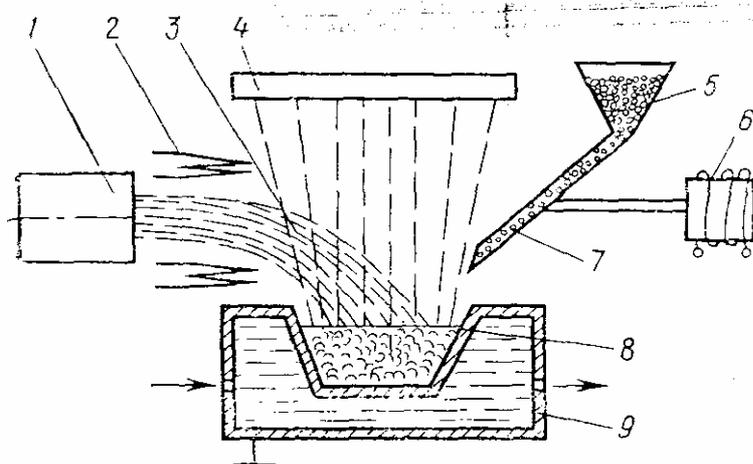


Рис.5. Основные узлы электронно-лучевой пушки

Локальный переплав обрабатываемых поверхностей при ЭЛО идет с очень высокими скоростями кристаллизации, что позволяет получать структуры с особыми свойствами по составу, прочности, износостойкости.

Плавка в вакууме применяется для получения особо чистых металлов, в том числе химически активных и тугоплавких.

Электронно-лучевая сварка обеспечивает глубокое (кинжальное) проплавление толстых (до  $>100$  мм) заготовок, что позволяет получать сварные соединения принципиально новой формы; микросварку в технологии ИС, герметизацию приборов и т.п.



## Рис.6. Электронно-лучевое испарение с помощью пушки Пирса

Испарение в вакууме (рис.6) широко используется для получения тонких пленок с хорошей адгезией к подложке в оптической промышленности и микроэлектронике.

Размерная электронно-лучевая обработка применяется для получения отверстий цилиндрической или фигурной формы диаметром 5-500 мкм, тонких пазов, щелей малых размеров (<10мкм) в тонких заготовках, а также для резки. Она основана на том, что при большой поверхностной мощности, скорость испарения материала и давление пара столь велики, что весь жидкий металл выбрасывается из зоны обработки. Это позволяет получить рез или отверстие с размерами 5010 мкм и конусностью 1-5°.

Для устранения остаточных напряжений и растрескивания обработку диэлектриков проводят с предварительным подогревом, а затем изделия отжигают. Метод применим для твердых сплавов, алмазов, керамики, титана, вольфрама, ферритов, полупроводников и других труднообрабатываемых материалов.

Скорость съема материала при черновых режимах электронно-лучевой обработки до 20-30 мм<sup>3</sup>/мин; чистовых – 1 мм<sup>3</sup>/мин; точность 5-20 мкм;  $R_a = 0,8-3,2$  мкм.

Электронно-лучевая термообработка применяется для локальных структурных превращений материала (в основном закалки лезвий инструмента) и для отжига в вакууме пленочных и тонколистовых структур. В последнем случае для равномерного нагрева используется сканирование луча.

## 5. Плазменная обработка

Низкотемпературная плазма ( $T=10^3-10^5$  К) нашла применение в процессах, требующих концентрированного нагрева. Она используется при плавлении вещества, сварке и наплавке, резке металлов и неметаллов, получении тонких пленок и нанесении покрытий из тугоплавких металлов, оксидов, нитридов и карбидов. Источниками плазмы являются плазменные ускорители для обработки в вакууме и плазмотроны (плазменные горелки) для обработки на воздухе. Наибольшее распространение получили дуговые плазмотроны, в которых плазма получается при различных видах взаимодействия электронной дуги с плазмообразующим газом (аргон, гелий, азот, водород, кислород). Стабилизация дуги может быть потоком газа (аксиальным и тангенциальным), а также охлаждаемой стенкой (см. рис.7).

Обработка может вестись в режимах плазменной дуги, когда заготовка проводящая и включена в цепь как электрод, и плазменной струи, когда она не включена в электрическую цепь. В первом случае эффективность нагрева выше. Распределение температур по радиусу и длине дуги и струи приведены на рис.7.

*Плавка* металлических и неметаллических материалов плазмой отличается высокой стабильностью, простотой и гибкостью технологического процесса.

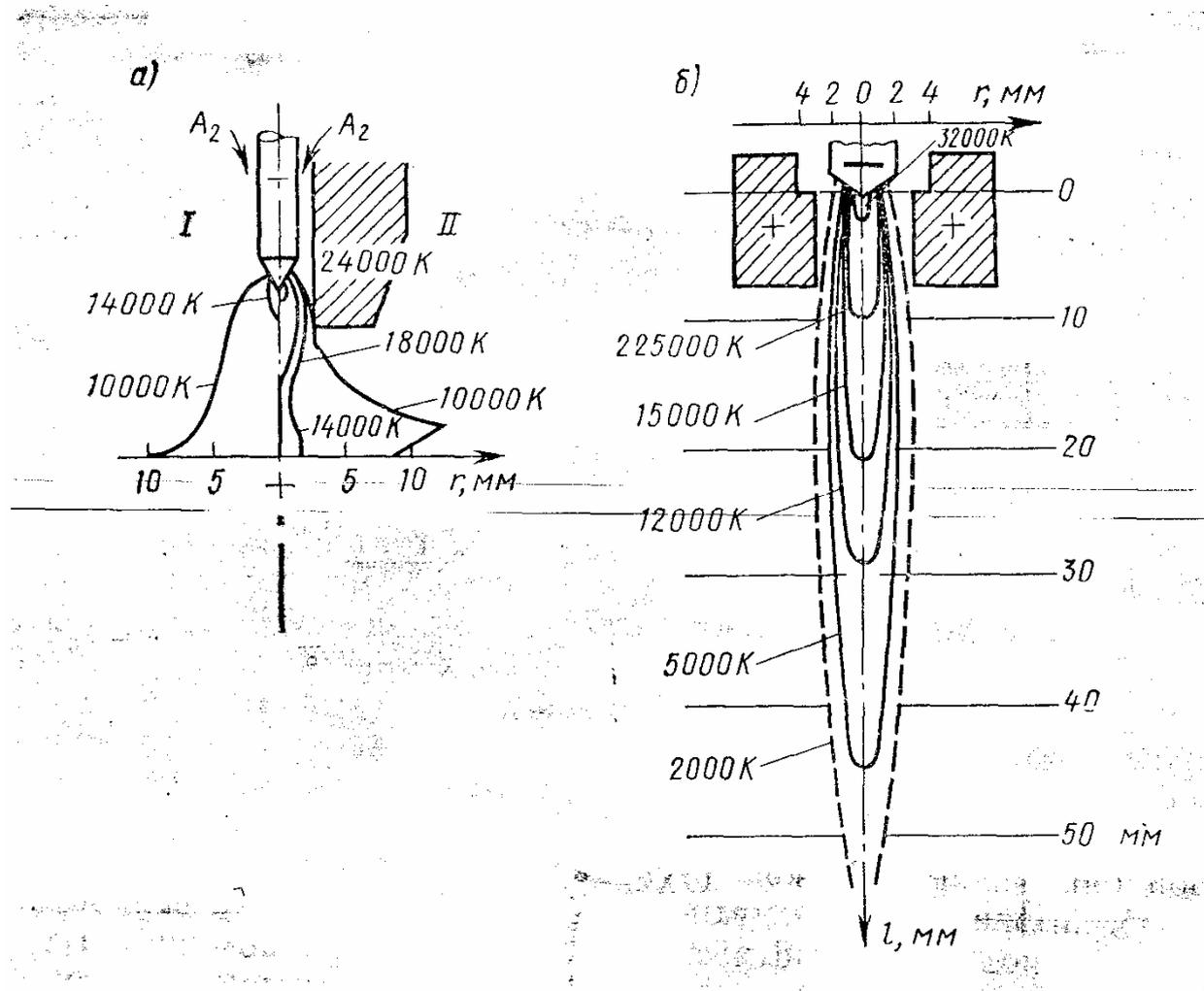


Рис.7. Распределение температур по радиусу и длине плазменных дуги и струи

*Сварка* позволяет получить большую глубину и малую ширину шва, идет с большой скоростью при высоком качестве шва. За один проход сваривают детали толщиной до 20 мм. Микроплазменная сварка применяется при толщине заготовок 0,025-1 мм и деталей РЭС.

*Наплавка* используется для нанесения на заготовку металлических слоев с целью повышения эксплуатационных свойств детали. За один проход можно нанести слой в 4-5 мм, что позволяет восстанавливать дорогостоящие изделия.

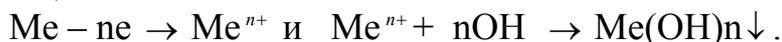
*Напыление* отличается от наплавки тем, что напыленный материал нагревается в плазматроне, и затем осаждается на подложку с различной температурой. Может быть напыление металла, подаваемого в плазматрон в виде прутка или проволоки (рис.а); и напыление оксидов, нитридов, карбидов и т. п., подаваемых в виде порошка. Этим методом получают тонкие покрытия ( $10^{-6}$ - $10^{-3}$  м) с особыми свойствами.

*Плазменное формование* используют для получения тонкостенных деталей и заготовок сложной формы из труднообрабатываемых металлов. При этом материал напыляется на оправки или шаблоны, затем растворимые.

*Резка* применяется для любых металлов и сплавов толщиной <300 мм. В основе процесса лежит локальное плавление и удаление расплава из зоны реза потоком плазмы.

## 6. Электрохимическая обработка

Электрохимическая обработка основана на явлении локального анодного растворения металла при электролизе. На аноде происходят следующие химические реакции:



Различают:

- *размерную* (анодно-гидравлическую) обработку в проточном электролите (принципиальная схема на рис.8);

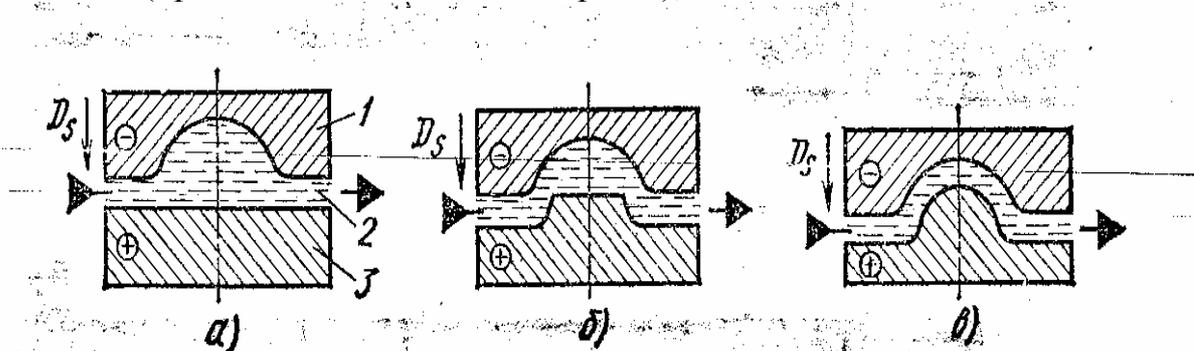


Рис.8. Принципиальная схема анодно-гидравлической обработки методом копирования

- *электрополирование*;
- *анодно-механическую* чистовую обработку.

Достоинства электрохимической обработки: на технологический процесс не влияют физико-механические свойства обрабатываемого материала (анода), нет износа инструмента; на обработанной поверхности нет наклепа, механических напряжений, заусенец. Удельный съем металла 50-200 мм<sup>3</sup>/Ач при анодном выходе по току 40-100%;  $R_a = 6,3-0,025$  мкм.

Недостатки: высокая энергоемкость; относительно низкая точность (9-11 квалитет); работа с агрессивными средами.

Размерная электрохимическая обработка проводится при высокой плотности тока (20-250 А/см<sup>2</sup> и малых межэлектродных зазорах (0,02-0,5 мм) при скорости электролита до 60 м/с. Различают:

1. *Обработку с неподвижными электродами* (отверстия в листовых материалах, удаление заусенец и острых кромок, маркировка). Форма углубления или отверстия определяется диэлектрической маской.
2. *Прошивание* углублений, полостей отверстий поступательно перемещающихся электрод-инструментом при постоянстве межэлектродного

зазора. К этой схеме относят и получение отверстий струйным методом.

3. *Точение* наружных и внутренних поверхностей (см. рис.9). Электрод-инструмент выполняет роль резца, хотя и не имеет с ней механического контакта, так как находится на постоянном от нее расстоянии. Деталь вращается, а электрод-инструмент может перемещаться как вдоль, так и в поперек нее.
4. *Протягивание* предварительно обработанных поверхностей электрод-инструментом, который устанавливается относительно заготовки с помощью диэлектрических прокладок (см. рис.9). Осуществляется при продольном (иногда и вращательном) движении инструмента для чистовой обработки цилиндрических отверстий, нарезания резьб, винтовых канавок и др.
5. *Разрезание* заготовок вращающимся диском или проволокой, которые подают к заготовке так, чтобы сохранялся постоянный зазор (рис. ).
6. При *шлифовании* используют вращающийся металлический инструмент цилиндрической формы, которая поступательно движется вдоль заготовки. Используется в качестве окончательной отделочной операции, когда недопустимы механические усилия на деталь.

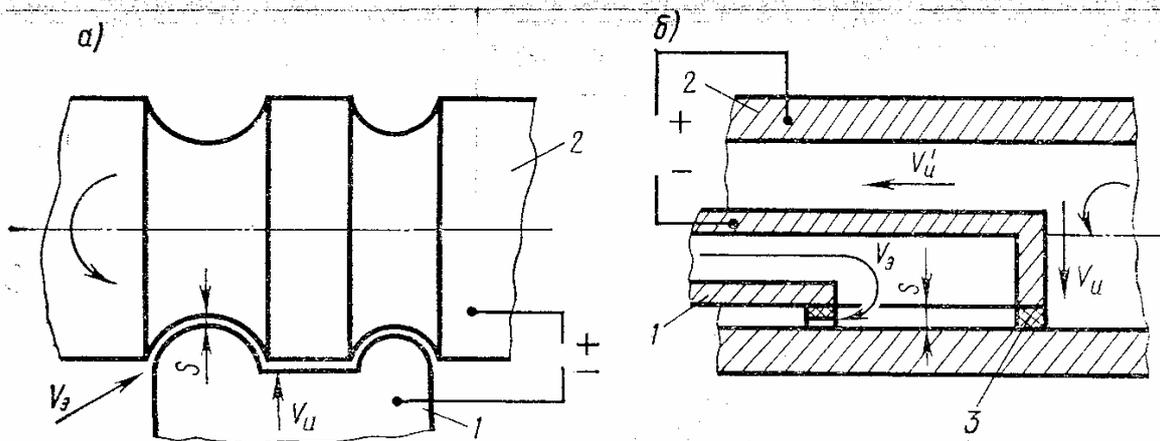


Рис.9. Технологические схемы ЭХ точения (а) и растачивания (б)

Размерная электрохимическая обработка может производиться непрофилированным, частично профилированным и профилированным электрод-инструментом. Последний метод наиболее распространен. Обработка в этом случае осуществляется вследствие копирования сложной формы инструмента при его поступательном перемещении. Точность копирования определяется межэлектродным зазором, напряжением, скоростью. И температурой электролита, его составом и другими факторами. Для повышения точности от 0,1-0,5 до 0,02-0,1 мм используют вибрацию электрод-инструмента, импульсные режимы, стабилизацию параметров технологического процесса.

В качестве электролитов используются водные растворы солей  $\text{NaCl}$ ,  $\text{NaNO}_3$ , кислот и щелочей, которые очищаются в ходе электрохимической

обработки от продуктов электрохимических реакций. Для стабилизации pH используются буферные добавки.

Электрод-инструмент изготавливается из сплавов с высокой проводимостью и стойкостью против коррозии (меди, латуни, бронзы, стали и сплавы титана, графит) механической обработкой, литьем, гальванопластикой, штамповкой. Шероховатость поверхности рабочей части инструмента должна быть не ниже  $R_a$  1,6 мкм.

Станки для размерной электрохимической обработки делятся на: копировально-прошивочные; контурной вырезки электродом-проволкой; удаления заусенцев; заточные; шлифовальные; контурно-доводочные и др. Они имеют: механическую часть, систему циркуляции электролита, источник тока, систему контроля и управления технологическим процессом, систему очистки электролита и др.

Электрополирование производится в неподвижном электролите за счет ускоренного анодного растворения микровыступов на поверхности заготовки. Качество обработки зависит от состояния исходной поверхности (для  $R_a$  0,16 мкм исходная заготовка должна быть с  $R_a$  2,5 мкм), состава электролита, режимов и времени электролиза. Так, стали полируют в кислотном электролите при напряжении 10-40 В, плотности тока  $(1-3) \cdot 10^6$  А/м<sup>2</sup>, температуре 60-80°С, время 0,5-5 мин.

Анодно-механическая чистовая обработка относится к комбинированным методам, может быть электроабразивной и электроалмазной. Они обеспечивают точность 6-9 качества, шероховатость  $R_a = 1,25-0,32$  мкм. Электроалмазная обработка сталей производится при следующих режимах:  $U=6-10$  В; плотность тока -  $2 \cdot 10^6$  А/м<sup>2</sup>, скорость вращения круга 20-25 м/с, давление на деталь 0,4-0,5 МПа.