

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

---

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«Омский государственный технический университет»

**О. П. Евдокимова, С. Б. Скобелев**

# **ПРОЕКТИРОВАНИЕ И ПРОИЗВОДСТВО ЗАГОТОВОК**

*Учебное текстовое электронное издание  
локального распространения*

Омск  
Издательство ОмГТУ  
2013

УДК 621.73+621.74+621.762+621.77

ББК 34.51

E15

Рецензенты:

*Я. М. Стрек*, к.т.н., доцент кафедры «Специальные технические дисциплины»  
Омского института водного транспорта (филиал)  
ФБОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»;

*В. И. Савченко*, к.т.н., с.н.с., доцент кафедры «Проектирование  
и автоматизация производств» ФГБОУ ВПО МГУТУ имени К. Г. Разумовского  
(филиал в г. Омске)

**Евдокимова, О. П.**

E15      Проектирование и производство заготовок : конспект лекций /  
О. П. Евдокимова, С. Б. Скобелев. – Омск : Изд-во ОмГТУ, 2013.

ISBN 978-5-8149-1621-1

Отражены вопросы проектирования технологических процессов производства заготовок. Рассмотрены способы получения заготовок методами литья и пластической деформации, порошковой металлургии и из пластмасс.

Издание предназначено для студентов направления подготовки 151900.62 «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств», профиль «Технология машиностроения»

УДК 621.73+621.74+621.762+621.77

ББК 34.51

*Рекомендовано редакционно-издательским советом  
Омского государственного технического университета*

ISBN 978-5-8149-1621-1

© ОмГТУ, 2013

1 электронный оптический диск

Оригинал-макет издания выполнен в Microsoft Office Word 2007 с использованием возможностей Adobe Acrobat X.

**Минимальные системные требования:**

- процессор Intel Pentium 1,3 ГГц и выше;
- оперативная память 256 Мб;
- свободное место на жестком диске 260 Мб;
- операционная система Microsoft Windows XP/Vista/7;
- разрешение экрана 1024×576 и выше;
- акустическая система не требуется;
- дополнительные программные средства Adobe Reader v 5.0 и выше.

№ госрегистрации 0321304523

Редактор *О. В. Маер*  
Компьютерная верстка *О. Г. Белименко*

Сводный темплан 2013 г.  
Подписано к использованию 11.11.13.  
Объем 3,19 Мб.

---

Издательство ОмГТУ.  
644050, г. Омск, пр. Мира, 11; т. 23-02-12  
Эл. почта: info@omgtu.ru

## ВВЕДЕНИЕ

Дисциплина «Проектирование и производство заготовок» играет значительную роль в современном машиностроении и всех отраслях народного хозяйства. Дисциплина входит в профессиональный цикл подготовки бакалавров.

Цель дисциплины «Проектирование и производство заготовок» состоит в том, чтобы вооружить будущего специалиста знаниями о современных способах проектирования и производства заготовок.

Основная задача дисциплины – изучение

1) вопросов изготовления заготовок требуемого качества, минимальной себестоимостью заготовки и изготавливаемой из неё детали;

2) связи между производством заготовок и последующей механической обработкой;

3) традиционных и новейших методов получения заготовок, их технологических возможностей, области применения.

В результате освоения дисциплины студент должен:

– *знать* современные способы получения заготовок, их технические возможности, рациональную область применения; основные научно-технические проблемы и перспективы развития заготовительного производства в машиностроении;

– *уметь* выбрать наиболее рациональный способ получения заготовок в конкретных производственных условиях;

– *владеть* навыками проектирования и оформления чертежа заготовки с учетом всех требований соответствующих ГОСТов.

# РАЗДЕЛ 1. ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПРОИЗВОДСТВА ЗАГОТОВОК

## Лекция 1. Основные понятия и определения.

### ТРЕБОВАНИЯ, ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫЕ К ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ПРОЦЕССАМ ЗАГОТОВИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА

#### Основные понятия и определения

Согласно ГОСТ 25501–82 **заготовка** – это полуфабрикат (промежуточный продукт), получаемый электролизом, литьём, методами пластической деформации и порошковой металлургии, предназначенный для дальнейшей обработки резанием или применяемый без обработки.

В общем случае *заготовка* отличается от *готовой детали*:

- по массе;
- размерам;
- конфигурации;
- качеству поверхности (шероховатости, физико-механическим характеристикам поверхностного слоя);
- точности (размеров, формы, взаимного расположения поверхностей).

Литьё, пластическая деформация металла, порошковая металлургия и другие методы получения заготовок являются по сравнению с обработкой резанием *ресурсосберегающими* технологиями. Однако наиболее традиционные из них не обеспечивают необходимых параметров точности и качества деталей, которые нужны для выполнения машиной её функционального назначения. Требуемые точность и качество даёт механическая обработка. Но при выборе метода получения заготовки стремятся к тому, чтобы заготовка с максимальной возможной степенью приближалась к готовой детали по указанным параметрам.

*Чертёж заготовки* связывает работу заготовительного и механического цехов, являясь для первого чертежом готового изделия, а для второго – исходным документом для построения процесса обработки заготовки. Поэтому в нормальных производственных условиях чертёж заготовки представляет собой результат совместной работы технологов заготовительного и механического цехов. В наиболее сложных случаях (при проектировании сложных деталей, имеющих необрабатываемые поверхности) в этой работе принимает участие конструктор основного производства, т. е. конструктор изделия. Для проектирования чертежа заготовки исходным всегда является чертёж готовой детали.

Заготовка от готовой детали отличается по размерам из-за наличия *припусков*, по конфигурации – из-за наличия *напусков*.

## Припуски и напуски

**Припуск** – это слой металла, при удалении которого конфигурация поверхности заготовки не меняется. Припуски назначают для компенсации погрешностей точности и качества, возникающих при изготовлении заготовки. Припуск принято обозначать буквой  $z$ . Припуски рассчитываются технологами механического цеха одним из трёх методов:

1) с помощью табличных данных соответствующих ГОСТов. Этот метод наиболее простой и быстрый, но даёт завышенные размеры припусков, а соответственно и увеличивает объём механической обработки, так как направлен на изготовление деталей без брака при любых условиях выполнения технологического процесса механической обработки;

2) аналитическим методом, который даёт точные результаты, так как более чётко учитывает различные составляющие припуска в каждом конкретном случае;

3) графоаналитическим методом, который даёт наиболее оптимальные результаты, так как учитывает все особенности технологического процесса механической обработки заготовки, выполненной определенным методом.

Общий припуск формируется из отдельных элементов, связанных с различными погрешностями:

$$z_o = z_{min} + \sqrt{z_{\phi}^2 + z_{уст}^2}, \quad (1)$$

где  $z_{min}$  – слой металла, который необходимо удалить для устранения неровностей на её поверхности  $Rz$  (мкм) и дефектного слоя металла  $T$  (мкм) (рис. 1).

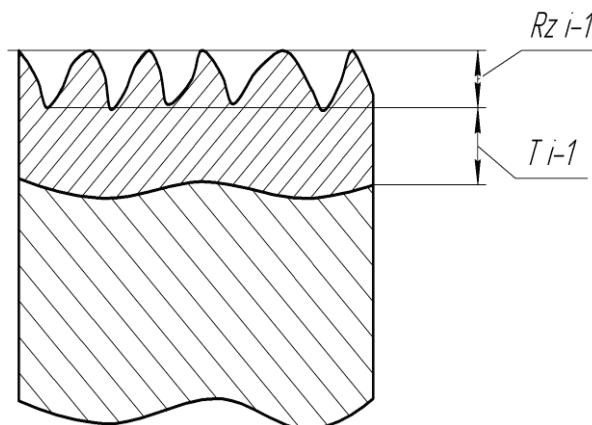


Рис. 1. Иллюстрация составляющих припуска  $z_{min}$

То есть для односторонней обработки  $z_{min} = (R_z + T)$ .

У отливок из серого чугуна дефектный слой  $T$  состоит из перлитной корки с включениями формовочного песка. У стальных поковок поверхностный слой характеризуется обезуглероженной зоной, иногда с впрессованной окалиной. И в первом и во втором случае он подлежит полному удалению.

$z_{\phi}$  – слой металла, удаляемый для компенсации погрешностей формы и пространственных отклонений в расположении обрабатываемых поверхностей заготовки (несоосности, непараллельности, перпендикулярности и т. д.) (рис. 2).

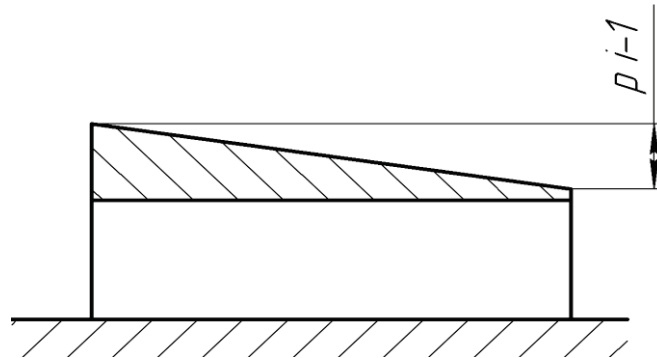


Рис. 2. Иллюстрация составляющих припуска  $z_{\phi}$

$z_{уст}$  – слой металла, удаляемый для компенсации погрешности установки заготовки, возникающей из-за неточности изготовления её поверхностей, служащих установочными базами на первой операции механической обработки.

Для предотвращения брака деталей нужно тщательно зачищать базовые поверхности заготовок. На них не должно быть штамповочных и литейных уклонов, остатков литниковой системы и облоя, других дефектов.

$z_{\phi}$  и  $z_{уст}$  – случайные величины, они могут компенсировать друг друга, поэтому их сумму вычисляют под знаком корня.

Величина припусков должна быть *оптимальной*. Назначение **чрезмерно больших припусков** приводит к непроизводительным потерям материала, превращаемого в стружку, увеличению трудоёмкости механической обработки, повышению расхода режущего инструмента, увеличению потребности в оборудовании и рабочей силе, уменьшению точности обработки из-за увеличения упругих отжатиий, увеличению себестоимости обработки.

Назначение **недостаточно больших припусков** не обеспечивает удаления дефектных слоев материала и достижения требуемой точности и шероховатости поверхности детали, а также повышает требования к точности заготовок, что приводит к их удорожанию.

Важным фактором для обеспечения необходимых точности и качества при механической обработке является равномерность расположения припуска как

на одной обрабатываемой поверхности, так и при переходе к обработке аналогичной поверхности следующей детали. Колебания величины припуска вызывают перегрузку и вибрацию инструментов и рабочих частей станка и могут быть причинами их поломки.

Весьма опасными для работы станков и инструментов являются *пороки металла* в заготовках: скрытые трещины, рыхлоты, включения, т. е. *состояние и глубина дефектного слоя*. Особенно пагубно на качество механической обработки влияет *нестабильность* этих показателей как у одной заготовки, так и у заготовок обрабатываемой партии.

Качество поверхностного слоя регламентируется определенными показателями, например твердостью. Твёрдость материала заготовки и другие параметры, характеризующие поверхностный слой, оказывают наибольшее влияние на точность размеров получаемой детали. Они обуславливают увеличение диапазона изменения усилий резания и вызываемых ими упругих отжатий, а следовательно, и поля рассеяния размеров обработанных деталей.

Проще всего уменьшить поле рассеяния путем непосредственного измерения размеров и твердости заготовок с последующей сортировкой их на группы и внесением необходимых поправок в размер статической настройки станка, учитывающих различие упругих отжатий технологической системы СПИД при обработке заготовок различных групп. Большой недостаток этого метода – трудоёмкость и организационная сложность.

Другим способом борьбы с нестабильностью качества заготовок является внедрение адаптивных методов управления, основанных на принципе компенсации упругих отжатий в технологической системе, вызванных колебаниями припуска и твёрдости заготовок, упругими перемещениями системы в противоположном направлении. Естественно, металлорежущее оборудование, оснащенное такими системами, стоит дороже и требует более дорогостоящего технического обслуживания.

У заготовок, полученных точными методами (штамповка вместоковки, литьё под давлением вместо литья в песчаные формы и др.), более стабильные характеристики качества поверхности заготовок и размеров, поэтому их гораздо проще обрабатывать в механических цехах, но использование этих методов часто бывает нерентабельным из-за высокой стоимости самих заготовок.

**Напуском** называется слой металла, при удалении которого конфигурация поверхности изменяется. Напуски назначают для упрощения выполнения операций заготовительного производства с целью получения качественной заготовки. Напусками являются:

1) штамповочные и литейные уклоны. Их устанавливают сверх припуска на все поверхности, перпендикулярные плоскости разъёма. Штамповочные



и литейные уклоны служат для облегчения изъятия заготовки из формы, т. е. уменьшения усилий выемки, увеличения стойкости формы, повышения качества поверхностей заготовки, облегчения заполнения полости формы металлом;

2) радиусы закругления – служат для улучшения заполнения формы металлом, снижения концентрации напряжений в форме и заготовке, а следовательно, предотвращают развитие трещин;

3) элементы конструкции детали, которые не выполняются в заготовке (мелкие отверстия, проточки, выточки, пазы и т. д.).

Напуски назначают по соответствующим ГОСТам, используя рекомендации справочников конструктора для каждого метода получения заготовки.

### **Требования, предъявляемые к технологическим процессам заготовительного производства**

В технологии машиностроения решаются задачи по всем технологическим вопросам: заготовительному производству, обработке резанием и сборке. Во многих случаях от выбора метода получения заготовки зависят основная структура технологического процесса и объём механической обработки, качество готовой детали, её себестоимость.

Инженеры-технологи механического цеха всегда являются заказчиками по отношению к технологическим службам заготовительных цехов. Они должны уметь отстаивать свои интересы и грамотно участвовать в выборе метода получения заготовки и её проектировании совместно с конструктором изделия и технологом заготовительного цеха. Из плохой, некачественной, нетехнологичной заготовки очень сложно получить качественную деталь. А из некачественных деталей практически невозможно изготовить надёжную, работоспособную машину.

Технологические процессы изготовления заготовок должны отвечать следующим требованиям:

- 1) обеспечивать заданную точность и качество заготовки;
- 2) быть экономичными;
- 3) экологически чистыми.

В настоящее время более **85 % предприятий** мирового машиностроения работают по принципам **единичного и серийного производств**, т. е. оно стало **многономенклатурным**. При этом от **30 до 60 % металла** в процессе изготовления заготовок **идет в отходы** (литниковые системы, прибыли, облой, угар и др.), что является проблемой [3].

Особенность проблемы уменьшения отходов состоит в том, что выбор заготовок имеет конструкторско-технологический характер. Выбор заготовок для

ответственных деталей машин является задачей конструктора. Если заготовка не задана директивно, то ее вид определяют технологи-проектировщики сквозного процесса изготовления деталей, а способ изготовления и конкретные технологии разрабатывают специалисты заготовительного производства. Для несложных деталей вид и способ изготовления исходной заготовки определяют технологи механообрабатывающих производств.

Основные направления в решении этой проблемы связаны с оптимальным выбором материала детали и способа изготовления заготовки, включая его технико-экономическое обоснование.

В этой связи **совершенствование заготовительного производства заключается в максимальном приближении формы и размеров заготовки к форме и размерам детали [3].**

Технологические процессы получения заготовок определяются технологическими свойствами материала, конструктивными формами и размерами детали, программой выпуска. На действующем производстве учитываются возможности заготовительных цехов (наличие соответствующего оборудования), на их работу оказывают влияние плановые сроки подготовки производства (проектные работы, изготовление штампов, моделей, пресс-форм).

При выборе технологических методов процессов получения заготовок учитываются прогрессивные тенденции развития технологии машиностроения. Решение задач формообразования деталей целесообразно перенести на заготовительную стадию и тем самым снизить расход материала, уменьшить долю затрат на механическую обработку в себестоимости готовой детали.

Для этого необходимо в конструкции заготовки и технологии её изготовления предусмотреть возможность экономии труда и материалов путем применения штампованных, штампованных, штампованных заготовок, а также автоматизированных технологических процессов.

### **Вопросы для самопроверки**

1. Основные понятия и определения.
2. Припуски и напуски.
3. Требования, предъявляемые к технологическим процессам заготовительного производства.

**Лекция 2. ТЕХНОЛОГИЧНОСТЬ КОНСТРУКЦИИ ЗАГОТОВКИ.  
ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА ВЫБОР МЕТОДА ПОЛУЧЕНИЯ ЗАГОТОВКИ**

**Технологичность конструкции заготовки**

*Технологичность* конструкции изделия, согласно ГОСТ 14.205–83, представляет собой совокупность свойств конструкции, определяющих ее приспособленность к достижению оптимальных затрат при производстве, эксплуатации и ремонте для заданных показателей качества, объема выпуска и условий выполнения работ.

Технологичность – понятие относительное. Одна конструкция заготовки может быть технологична при данном типе производства и совершенно нетехнологична при другом. Технологичность зависит также от производственных возможностей данного предприятия. Развитие производственной базы предприятия (например, внедрение станков с ЧПУ, автоматизированного оборудования) изменяет требования к технологичности.

*Показатели технологичности*

1. Качественные показатели получают путем сравнения двух и более вариантов заготовок. Критерием в этом случае являются справочные данные, а также опыт технолога и конструктора.

2. Количественные показатели дают возможность объективно достаточно точно оценить технологичность сравниваемых конструкций. Применительно к заготовкам чаще всего в качестве показателей технологичности используют **трудоемкость изготовления, технологическую себестоимость и коэффициент использования материала (КИМ)** [3].

**Трудоемкость изготовления** заготовки представляет собой суммарные затраты времени на производство заготовки по всем технологическим операциям [3]. На ранних стадиях проектирования трудоемкость оценивается по трудоемкости типовой заготовки, аналогичной по форме, точности и технологии изготовления:

$$T_{np} = T_{min} \cdot \sqrt[3]{(M_{np} / M_{min})^2}, \quad (2)$$

где  $T_{np}$ ,  $T_{min}$  – трудоемкость проектируемой и типовой заготовок;

$M_{np}$ ,  $M_{min}$  – масса проектируемой и типовой заготовок.

**Для оценки технологичности** на стадии механообработки используют также отношение трудоемкости механической обработки к трудоемкости получения заготовки  $T_{mex} / T_{заг}$ . Чем меньше это отношение, тем технологичнее заготовка (уменьшается объем механической обработки).

**Себестоимость изготовления заготовки  $S_3$**  по заготовительному цеху определяется как

$$S_3 = M_3 + Z_3 + O_3, \quad (3)$$

где  $M_3$  – стоимость материалов для изготовления одной заготовки, руб.;

$Z_3$  – зарплата основных рабочих заготовительного цеха, руб.;

$O_3$  – стоимость технологического оснащения, руб.

Из сравниваемых вариантов выбирают тот, для которого технологическая себестоимость минимальна независимо от отдельных составляющих.

### Коэффициент использования материала (КИМ)

Рассчитывают следующие коэффициенты:

$$1) \text{КИМ} = \frac{M_{\text{дет}}}{M_{\text{исх.заг}}} \cdot 100 \% = \frac{V_{\text{дет}}}{V_{\text{исх.заг}}} \cdot 100 \% \quad (4)$$

определяет суммарные потери металла в заготовительном и механическом цехах. (Исходной заготовкой, поступающей в заготовительный цех для последующейковки, может быть, например, прутки, труба, слитки и т. д.);

$$2) \text{КИМ} = \frac{M_{\text{заг}}}{M_{\text{исх.заг}}} \cdot 100 \% = \frac{V_{\text{заг}}}{V_{\text{исх.заг}}} \cdot 100 \% \quad (5)$$

определяет потери металла в заготовительном цехе (угар, облой, литники);

$$3) \text{КИМ} = \frac{M_{\text{дет}}}{M_{\text{заг}}} \cdot 100 \% = \frac{V_{\text{дет}}}{V_{\text{заг}}} \cdot 100 \% \quad (6)$$

определяет потери металла в механическом цехе на *стружку* (для технолога механического цеха является очень важным показателем). Различные методы получения заготовки обеспечивают различные КИМ. Например, *литьё под давлением* даёт КИМ = 90–95 %; *литьё в песчаные формы* – КИМ = 60–70 %.

*Некоторые рекомендации по повышению технологичности заготовок [4]*

1. Желательно, чтобы очертания заготовки представляли собой сочетание наиболее простых геометрических форм.

2. Форма и размеры отдельных элементов заготовки (радиусы, уклоны) должны быть унифицированы.

3. Точность размеров и шероховатость поверхностей заготовок должны быть экономически обоснованными.

4. Желательно максимально использовать способы получения заготовок, не требующие последующего снятия стружки.

5. Необходимо стремиться максимально сократить механическую обработку за счет уменьшения количества и протяженности обрабатываемых поверхностей (рис. 3).

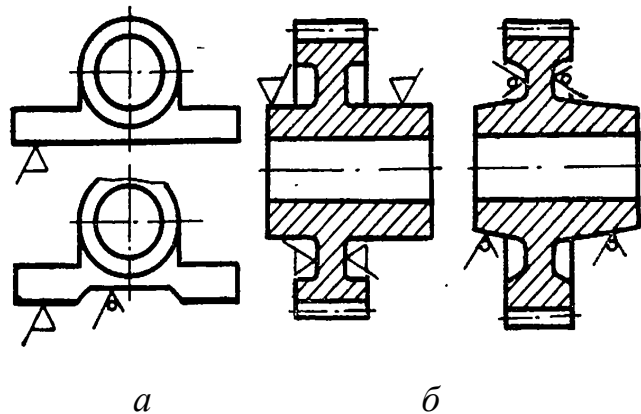


Рис. 3. Примеры уменьшения объема механической обработки за счет уменьшения протяженности обрабатываемых поверхностей (а) и уменьшения их количества (б)

6. Конструкция детали должна допускать возможность ее изготовления составной из двух или более частей.

### **Факторы, влияющие на выбор метода получения заготовки**

Выбор метода получения заготовки определяется следующими факторами:

1) требуемыми эксплуатационными свойствами детали. Например, материал заготовок, полученных методами пластической деформации, обладает более высокими физико-механическими характеристиками, чем материал отливок аналогичного химического состава. Поэтому наиболее ответственные детали, работающие под нагрузкой, изготавливают ковкой или штамповкой.

С другой стороны, литейные сплавы более жаростойкие, чем деформируемые, так как при очень высоких температурах структура литых сплавов лучше выдерживает нагрузки, чем гомогенизированная, полученная в результате горячей обработки. По этой причине в аэрокосмической технологии для рабочих лопаток турбины используются литейные сплавы (никельхромтитанистые, теплостойкие жаропрочные стали). Необходимость уменьшения массы, охлаждения в АКТ приводит к усложнению формы заготовок деталей, за-

ставляет делать их пустотелыми и тонкостенными (например, валы, лопатки турбин). Представляет интерес возможность применения для лопаток компрессора, армированных стекловолокном пластических материалов, обладающих высокой прочностью при малом весе, высокой стойкостью к коррозии и относительной нечувствительностью к повреждению поверхности, а также получением сложнофасонных форм. Механическая прочность этих материалов достигает  $630 \text{ Мн/м}^2$ , но их максимальная температура пока ограничивается  $250\text{--}300 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Детали, полученные методом порошковой металлургии, могут обладать особенными специфическими электрическими (изготавливают электрические контакты), физико-механическими свойствами (определённой пористостью – для фильтрующих элементов; повышенными антифрикционными свойствами – для подшипников качения, фрикционными свойствами – для узлов сцепления и т. д.);

2) технологической характеристикой и механическими свойствами материала заготовки, т. е. его литейными свойствами или способностью подвергаться пластической деформации при обработке давлением. Например, чугун обладает отличными литейными свойствами: жидкотекучестью, малой усадкой и другими, но он хрупок, и ковать его нельзя; сталь обладает менее благоприятными литейными свойствами, но хорошо куётся.

Почти все магниевые сплавы обрабатывают только на гидравлических прессах, так как процессы разупрочнения у них протекают медленно и они плохо деформируются при высоких скоростях (на молотах);

3) конструктивными формами и размерами заготовки. Например, литьём под давлением получают тонкостенные отливки сложной формы массой не более  $80\text{--}100 \text{ кг}$ ; литьём в песчаные формы получают отливки массой до  $250 \text{ т}$  более простой конфигурации.

Ковкой получают заготовки простой формы массой до  $250 \text{ т}$  (например, гребные винты), штамповкой – заготовки в основном массой до  $100 \text{ кг}$ , но более сложной формы и т. д.;

4) требуемой точностью и качеством получения заготовки. Например, у отливок, полученных в песчаных формах  $IT\ 16\text{--}19$ ;  $Rz\ 80 \text{ мкм}$  и грубее; у отливок по выплавляемым моделям  $IT\ 14\text{--}15$ ;  $Rz\ 80 \text{ мкм}$  и грубее. У поковок  $IT\ 18\text{--}19$ ;  $Rz\ 320 \text{ мкм}$  и грубее; у штамповок  $IT\ 15$ ;  $Rz\ 80 \text{ мкм}$  (после пескоструйной обработки) и грубее;

5) программой выпуска заготовок ( $N$  шт. в год или типом производства). Например, литьё в песчаные формы применяется при всех типах производства, литьё в кокиль и под давлением – в крупносерийном и массовом, свободная ковка – в единичном и мелкосерийном производствах, штамповка – в серийном

и массовом. Точные методы получения заготовок нерентабельны при малой программе выпуска из-за высокой стоимости оснастки;

6) сроком выполнения программы;

7) имеющимся на предприятии оборудованием;

8) желаемым уровнем автоматизации. Например, литьё в кокиль и литьё под давлением легче автоматизировать, чем литьё в песчаные формы и литьё по выплавляемым моделям; работу на прессе механизировать и автоматизировать легче, чем работу на молоте;

9) условиями последующей механической обработки. Например, к заготовкам, обрабатываемым на станках с ЧПУ, предъявляются повышенные требования по точности и качеству: величина припусков у них должна быть на 20–40 % меньше, чем у заготовок, обрабатываемых на универсальном оборудовании; у них должны быть более стабильные показатели по качеству и точности заготовок. Несоблюдение этих требований приводит к поломке режущих инструментов и простою дорогостоящего оборудования;

10) себестоимостью изготовления заготовки и изготавливаемой из неё детали.

### **Вопросы для самопроверки**

1. Технологичность конструкции заготовки.
2. Коэффициенты использования материала.
3. Факторы, влияющие на выбор метода получения заготовки.

### **Лекция 3. Задачи конструктора, технолога механосборочного цеха и технолога заготовительного производства при выборе метода получения заготовок. Себестоимость изготовления детали в зависимости от метода получения заготовки.**

#### **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТИПА ПРОИЗВОДСТВА**

#### **Задачи конструктора, технолога механосборочного цеха и технолога заготовительного производства при выборе метода получения заготовок**

Выбор того или иного способа получения заготовки – очень ответственное мероприятие. Технолог заготовительного цеха не может решать свои задачи изолированно и отвлечённо. Исходные данные для своей работы он получает от технолога механосборочного цеха. Технолог механосборочного цеха координирует все технологические разработки по изготовлению данного изделия. Он согласует все неясные вопросы с конструктором машины.

*Конструктор* основного производства разрабатывает чертёж детали: назначает материал детали, его марку, термическую обработку заготовки и детали и т. п.; устанавливает предпочтительный метод получения заготовки (например, ковку вместо литья) для обеспечения требуемых эксплуатационных свойств детали.

*Технолог механического цеха* после предварительной разработки маршрута изготовления детали устанавливает:

1) припуски на обработку;  
2) допуски на размеры обрабатываемых и необрабатываемых поверхностей заготовки;

3) базовые поверхности первой операции механической обработки (эти поверхности в заготовке должны быть выполнены с особой тщательностью: на них не должно быть дефектов, через них не должна проходить плоскость разёма формы, на них нежелательны штамповочные или литейные уклоны, все базовые поверхности должны по возможности находиться в одной полуформе для обеспечения более высокой точности их взаимного расположения, при литье они должны располагаться внизу или вертикально для достижения более высокого качества и точности поверхности и т. д.);

4) требования к структуре и твёрдости материала с учётом их обрабатываемости резанием (в процессе ковки или штамповки поковка может подкалиться, при литье в кокиль возможен отбел поверхностного слоя. В обоих случаях очень высокая твёрдость поверхности. Лезвийным инструментом возможна обработка поверхности твёрдостью не выше HRC 42. В случае приобретения заготовкой такой твёрдости в технологии изготовления заготовки должна быть предусмотрена соответствующая термообработка, снижающая твёрдость поверхности);

5) метод очистки поверхностей (дробеструйная, травление, пескоструйная. Например, после пескоструйной очистки штамповок шероховатость поверхности заготовки  $Rz$  80 мкм, после дробеструйной – 400 мкм);

6) места и методы вырезки пробных образцов для оценки качества материала;

7) метод предварительной обработки заготовок (правка, зачистка, зацентровка или подготовка на шлифовальном обрабатывающем центре шлифованных баз для операций механической обработки).

Все рассмотренные выше показатели должны учитываться одновременно, так как они тесно связаны. Окончательное решение принимают на основании экономического расчёта с учётом стоимости метода получения заготовки и механической обработки. И только на основе этих данных технолог заготовительного цеха разрабатывает технологию изготовления заготовки конкретным методом (литьём под давлением, штамповку на горизонтально-ковочной машине и др.).



## **Себестоимость изготовления детали в зависимости от метода получения заготовки**

Выбранный метод получения заготовки должен обеспечить минимальную себестоимость изготовления детали, т. е. должны быть минимальными затраты на материал, изготовление заготовки и детали, т. е.  $C_{дет} = C_{заг} + C_{мех.обр}$ .

С повышением точности изготовления заготовки и приближением её конфигурации к готовой детали уменьшается объём механической обработки, т. е. уменьшается слагаемое  $C_{мех.обр}$ . Однако при малой программе выпуска не все методы, обеспечивающие высокую точность заготовки, оказываются рентабельными. Не окупаются затраты на дорогостоящую оснастку.

На предприятиях на этапе выбора метода получения заготовки его осуществляют по следующей методике.

Сравнивают относительную себестоимость заготовок, полученных различными методами. Сравнивают себестоимость заготовок средней точности, средней сложности массой 1 кг из наиболее типового материала, т. е. для **отливок** – из **серого чугуна**, для заготовок, полученных **методами пластической деформации** – из стали 45 в зависимости от **программы выпуска** (обычно годовой).

На производстве метод получения заготовки обычно выбирают на основе проверенных типовых процессов. Однако в любом частном случае имеются резервы для дальнейшего улучшения технологии.

Рассмотрим приближённый способ определения себестоимости изготовления детали, включая процессы получения заготовки и её последующей механической обработки.

Сначала проводится предварительный выбор метода получения заготовки по технологическим характеристикам, приводимым в учебной и справочной литературе по пунктам, указанным выше.

Зная исходные данные, можно, пользуясь методом исключения, отобрать несколько возможных вариантов; остальные отбрасываются как неудовлетворяющие начальным условиям (материал заготовки, её размеры, сложность формы и др.). Раскроем подробнее формулу

$$C_{дет} = C_{заг} + C_{мех.обр} = a_1 \cdot M \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 + a_2 \cdot E \cdot K_4 \cdot K_5 \cdot K_6 \cdot K_7 \cdot K_8, \quad (7)$$

где  $a_1$  – себестоимость изготовления заготовки средней точности, средней сложности, массой 1 кг, руб., для отливок из серого чугуна для различных (ранее отобранных) методов и для данной программы выпуска; для заготовок средней точности, средней сложности, массой 1 кг, полученных давлением из стали 45;

$M$  – масса заготовки, кг;

$K_1$  – коэффициент, характеризующий сложность формы заготовки (для простых форм  $K_1 = 0,8$ ; для сложных  $K_1 = 1,2$ );

$K_2$  – коэффициент, характеризующий материал отливки или поковки (для СЧ  $K_2 = 1$ ; для КЧ – 1,3; для углеродистой стали – 1,8; для низколегированной стали – 2,5; для цветных сплавов – 3,6; для поволоков из стали 45  $K_2 = 1$ ; для поволоков из низкоуглеродистой стали  $K_2 = 1,5-2,0$ );

$K_3$  – коэффициент, характеризующий точность выполнения заготовки (для обычной точности  $K_3 = 1$ ; для повышенной  $K_3 = 1,2$ );

$a_2$  – себестоимость механической обработки заготовки средней точности, средней сложности, массой 1 кг, руб. (ступенчатые валы, планки, корпусные детали);

$E$  – коэффициент, учитывающий влияние массы заготовки на обрабатываемые поверхности (для деталей типа ступенчатых валов, планок  $E = M^{2/3}$ ; для дисков  $E = M$  (при изменении массы только за счет длины планки увеличение поверхности происходит в  $M$  раз); для корпусных деталей  $E = (0,6-0,8) M$  и т. д.);

$K_4$  – коэффициент, учитывающий влияние материала заготовки, исходя из условий его обрабатываемости резанием. Для СЧ  $K_4 = 1$ ; для углеродистой стали  $K_4 = 1,2$ ; для цветных сплавов  $K_4 = 0,7$ ;

$K_5$  – коэффициент, учитывающий точность размеров заготовки. Для заготовки обычной точности  $K_5 = 1$ ; для повышенной точности  $K_5 = 0,8$ .

$K_6$  – коэффициент, учитывающий заданную чертежом детали точность обработки её поверхностей. Для средней точности по качеству ИТ8  $K_6 = 1$ ; по ИТ7  $K_6 = 1,2$ ; по ИТ6  $K_6 = 1,5$ ; по ИТ11  $K_6 = 0,8$ ; ИТ12  $K_6 = 0,6$ ;

$K_7$  – коэффициент, учитывающий степень приближения конфигурации заготовки к конфигурации готовой детали:

$$K_7 = \frac{V_{\text{прип}} + 0,8 \cdot V_{\text{нап}}}{V_{\text{прип}}}, \quad (8)$$

где  $V_{\text{прип}}$  – объём всех снимаемых припусков;  $V_{\text{нап}}$  – объём всех снимаемых напусков;

$K_8$  – коэффициент, учитывающий отношение обрабатываемых поверхностей детали  $F_{\text{дет}}$  ко всей поверхности  $F_{\text{заг}}$ .

$$K_8 = \frac{F_{\text{дет}}}{F_{\text{заг}}}. \quad (9)$$

Для валов  $K_8$  близок к 1, для корпусных деталей  $K_8$  нередко менее 0,5.

Рассчитав для отобранных методов получения заготовки  $C_{дет}$ , выбирают метод с  $C_{дет min}$ . Расчёт даёт приближённый результат. Точность расчёта можно повысить путём уточнения коэффициентов  $K_1$ – $K_8$ .

Если полученные результаты расчётов себестоимости не дают однозначного ответа в пользу того или другого метода, то прибегают к расчёту коэффициента использования материала заготовки, который является важным показателем рациональности выбранного метода получения заготовки.

### **Определение типа производства**

В соответствии с ГОСТ 14.004–83 в зависимости от широты номенклатуры, регулярности, стабильности и объёма выпуска изделий современное производство подразделяется на различные типы: единичное, серийное и массовое.

#### *Основные технологические признаки типов производства*

**Единичное производство.** Широта номенклатуры, малый объём выпуска (штуки, десятки штук); операции на рабочих местах повторяются нерегулярно или не повторяются совсем; не применяются специальное оборудование, оснастка, инструменты; квалификация рабочих высокая; себестоимость продукции относительно высокая; технологическая документация сокращённая и упрощённая.

**Массовое производство.** Узкая номенклатура, большой объём выпуска изделий, непрерывное изготовление изделий в течение продолжительного времени; на каждом рабочем месте закрепляется выполнение постоянно повторяющейся операции; оборудование высокопроизводительное специальное, оснастка и инструмент специальные; квалификация рабочих-операторов низкая, квалификация наладчиков оборудования высокая; себестоимость продукции относительно низкая; технологическая документация разрабатывается очень подробно.

**Серийное производство.** Ограниченная номенклатура изделий, изготовление периодически повторяющимися партиями; сравнительно большой объём выпуска. По всем организационным характеристикам серийное производство занимает промежуточное положение между массовым и единичным производством.

Серийное производство подразделяется на мелкосерийное, среднесерийное и крупносерийное.

Данные для определения типа производства представлены в табл. 1.

Таблица 1

Данные по годовому выпуску отливок в зависимости от их массы и серийности

Тип серийности производства	Масса отливки*, кг				
	<100	...	101–1000	...	>1000
Годовой выпуск отливок одного наименования, шт.					
Единичное	<300	...	<50	...	<5
Мелко-серийное	300–3000	...	50–600	...	5–25
Средне-серийное	Св. 3000–35000	...	Св. 600–3000	...	Св. 25–75
Крупно-серийное	Св. 35000–200000	...	Св. 3000–20000	...	Св. 75
Массовое	Св. 200000	...	Св. 20000	...	–

\*Отливки по массе подразделяют на мелкие (до 100 кг), средние (101–1000 кг), крупные (1001–5000 кг) и очень крупные (свыше 5000 кг).

Данные по преобладающему типу серийности производства для различных методов получения заготовок представлены в табл. 2

Таблица 2

Тип производства для различных методов получения заготовок

Показатель	Способ литья						Способ пластической деформации			
	В песчаные формы	Под давлением	В кокиль	По выплавляемым моделям	В оболочковые формы	Центробежное	Свободная ковка	Штамповка на молотах	Штамповка на прессах	Штамповка на ГKM
Тип производства	Ед*, Мс, С, Кс	Кс, Мас	С, Кс, Мас	Ед, Мс, С	С, Кс, Мас	С, Кс, Мас	Ед, Мс	С, Кс	Кс, Мас	Кс, Мас

\*Ед – единичное производство; Мс – мелкосерийное; С – среднесерийное; Кс – крупносерийное; Мас – массовое.

Программа выпуска заготовок и готовых деталей и срок выполнения этой программы в значительной степени влияют на рентабельность применения того или иного метода получения заготовок. Эти понятия определяют в конечном счёте тип производства.

### Вопросы для самопроверки

1. Задачи конструктора, технолога механосборочного цеха и технолога заготовительного производства при выборе метода получения заготовок.
2. Себестоимость изготовления детали в зависимости от метода получения заготовки.
3. Определение типа производства.

## РАЗДЕЛ 2. ПОЛУЧЕНИЕ ЗАГОТОВОК МЕТОДАМИ ЛИТЬЯ

### ЛЕКЦИЯ 4. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МАТЕРИАЛОВ. ЛИТЕЙНЫЕ СПЛАВЫ И ИХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ВОЗМОЖНОСТИ И ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ РАЗЛИЧНЫХ МЕТОДОВ ЛИТЬЯ

#### Технологические свойства материалов

Литейные свойства: жидкотекучесть, усадка, склонность к образованию усадочных раковин и пор, трещиностойчивость, газопоглощение, ликвация [4].

**Жидкотекучесть** – способность расплавленного металла заполнять полость литейной формы. Показатель жидкотекучести  $K_{ж.т}$  определяется отношением значений жидкотекучести данного материала и эталона, за который принята сталь 30Л.

**Усадка** – уменьшение объема отливки при охлаждении расплава в форме до температуры окружающей среды. Существует линейная и объемная усадка, измеряемые в процентах. Так для серого чугуна линейная усадка наименьшая (0,9–1,3 %). Стали имеют усадку 0,8–2,5 %.

В результате неравномерного охлаждения и возникающего механического торможения усадки возникают напряжения – причина **горячих трещин**.

**Газопоглощение** – способность литейных сплавов в расплаве растворять газы. Высокое газопоглощение приводит к образованию в отливках газовых раковин и пор. Для их устранения применяют плавление в вакууме и т. д.

**Ликвация** – неоднородность химсостава в различных частях отливки. Зависит от химсостава сплава и условий образования отливки.

Одним из немаловажных свойств материалов при обработке давлением является **технологическая пластичность** – это способность металла изменять форму при обработке давлением без нарушения целостности. Она зависит от условий обработки.

**Обрабатываемость** – свойство металла поддаваться обработке резанием. Хорошая обрабатываемость обеспечивает высокое качество обработки.

**Большую часть отливок ~ 75 % изготавливают из чугуна** (рис. 4). Чугуны всех марок хорошо обрабатываются, но плохо свариваются. Их свойства определяют назначение чугунов от умеренно нагруженных (СЧ) до вибронагруженных [3].

Чугун – железоуглеродистый нековкий литейный материал, содержащий свыше 2 % (до 3–3,5 %) углерода, до 4,5 % кремния, до 1,5 % марганца, до 1,8 % фосфора, до 0,08 % серы.

Эксплуатационные свойства чугуна зависят от его прочности, твердости, пластичности, а также от формы, размеров и расположения углеродных включений в его структуре.

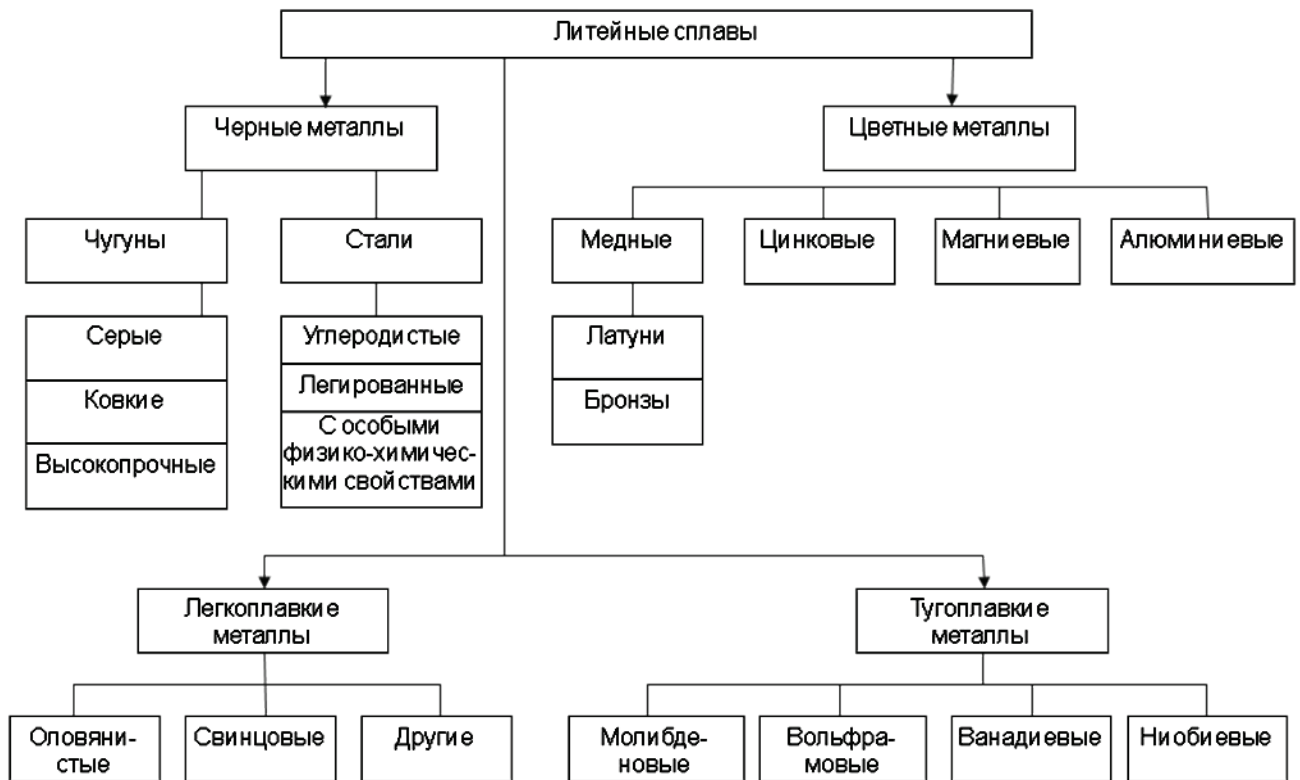


Рис. 4. Классификация литейных сплавов

В литейном производстве 94 % чугунных отливок по массе изготавливают из **серого чугуна** марок СЧ10, СЧ15, СЧ18, СЧ20. Это серые чугуны с пластинчатым графитом (СЧ10–СЧ35;  $\sigma_B = 100\text{--}350$  МПа, 120–190 НВ). Они малочувствительны к надрезам и другим концентраторам напряжений. Хорошо рассеивают виброколебания, поэтому станины станков делают не из стали, а из чугуна. В случае ударных нагрузок серый чугун применять нельзя, так как он хрупок. Однако серый чугун является наиболее дешевым литейным сплавом.

**Ковкий чугун** (КЧ 30-6–КЧ 80-1,5;  $\sigma_B = 294\text{--}784$  МПа, 100–320 НВ) получают путем отжига белого чугуна. Он имеет включения с хлопьевидным графитом, отличается низкими литейными свойствами – пониженной жидкотекучестью, большой усадкой, повышенной склонностью к трещинообразованию. Ковкий чугун обладает высокой прочностью и износостойкостью, занимая по механическим свойствам промежуточное положение между серым чугуном и сталью. Применяют для отливок, работающих со знакопеременными нагрузками: коробки передач, шасси в автотранспорте, рычаги и др.).

**Высокопрочный чугун** с шаровидным графитом (ВЧ 35–ВЧ 100;  $\sigma_B = 350–1000$  МПа, 140–360 НВ). Чугун применяют для ответственных отливок, работающих в условиях смен теплового режима – гильзы ДВС и др. Этот чугун по литейным свойствам приближают к сталям. Имеет пониженные жидкотекучесть и усадку, склонность к дефектам литейного происхождения.

**Легированные чугуны** (ЧХ1 – ГОСТ 7769–82 и др.) применяют для работы деталей при высоких температурах до 500–700 °С.

**Сталь** – сплав железа с углеродом и другими элементами, содержащий до 2,14 % углерода. Наибольшая величина предела прочности  $\sigma_B$  и предела выносливости  $\sigma_{-1}$  достигается при содержании углерода ~ 0,9 %. Из стали производят около 21 % всех отливок по массе. По химическому составу стали делятся на углеродистые и легированные. Последние в зависимости от количества легирующих элементов делятся на низколегированные (до 2,5 %), среднелегированные (от 2,5 до 10 %) и высоколегированные (свыше 10 %). Литейные стали 15Л, 20Л, 45Л, 10Х18Н9ТЛ, 110Г13Л обладают пониженной жидкотекучестью и большой усадкой. В связи с этим расход металла на отливку увеличивается примерно в 1,6 раза по сравнению с чугуном.

В зависимости от назначения и качественных показателей отливки из углеродистых и легированных сталей разделены на три группы:

I – отливки общего назначения, контролируемые по внешнему виду, размерам и химсоставу;

II – отливки ответственного назначения, контролируемые по прочности, относительному удлинению;

III – отливки особо ответственного назначения, контролируемые по ударной вязкости.

Стальные отливки подвергают термообработке: нормализации при температуре 850–920 °С с последующим отпуском или закалке при температуре 800–870 °С с отпуском.

**К цветным металлам** относят: алюминий, магний, цинк, медь и сплавы на их основе.

**Алюминий** и его сплавы имеют высокую прочность, малую плотность. Они незаменимый материал в авиапромышленности. Сплавы алюминиевые литейные, ГОСТ 1583–93: АЛ 2–АЛ 11, имеют пределы прочности  $\sigma_B = 150–220$  МПа, плотность 2,65–2,94 г/см<sup>3</sup>. А сплав этой группы АМг10 (АЛ 27) имеет высокую коррозионную стойкость,  $\sigma_B = 320$  МПа. Магний имеет минимальную плотность. В чистом виде не применяется. Однако для увеличения прочности вводят магний.

**Магниево-литые сплавы** (МЛ5, МЛ6, МЛ8) уступают алюминиевым по пластичности и коррозионной стойкости. Сплавы имеют плохую жид-

котекучесть, большую усадку, склонны к образованию рыхлот. Они способны воспламеняться в жидком состоянии, что затрудняет изготовление отливок.

Сплавы **цинка** достаточно прочны. Имеют высокую коррозионную стойкость. Могут применяться в качестве антифрикционных материалов и для защиты железосодержащих сплавов. В качестве легирующих элементов часто содержат медь, алюминий и в незначительных количествах – магний и марганец.

Наиболее распространены сплавы на основе меди – бронзы и латуни. **Бронзы**, применяемые в литейном производстве, подразделяются на две группы: оловянные (БрО10Ф1, БрО5С25 и др.) и безоловянные (БрС30, БрА9Мц2Л и др.). Бронзы отличаются высокими механическими, коррозионными и антифрикционными свойствами. Они обладают хорошей жидкотекучестью, но сравнительно большой усадкой и склонностью к окислению. **Латуни** (ЛЦ16К4, ЛЦ30А3 и др.) имеют сложный химический состав. Кроме цинка, в них входят Al, Fe, Mn и другие элементы. Латуни имеют более высокие литейные свойства, чем бронзы, поэтому из них легче получить плотные, герметичные отливки.

**Тугоплавкие сплавы** – сплавы на основе титана, вольфрама, молибдена, ниобия, ванадия. Имеют высокую температуру плавления (1700–3500 °С) и отличаются повышенной прочностью при высоких температурах. Как конструкционный материал чаще используют титановые сплавы (ВТ1Л, ВТ5Л и др.). Литейные свойства титановых сплавов характеризуются малым интервалом температур кристаллизации.

**Легкоплавкими** являются сплавы, полученные на основе висмута, олова, свинца и кадмия. Эти сплавы имеют температуру плавления 70–90 °С.

## **Технологические возможности и область применения различных методов литья**

Основные способы литья приведены на рис. 5.

Технологические возможности способа литья определяются классом размерной точности отливки, степенью коробления, степенью точности поверхностей, классом точности массы и другими параметрами.

В соответствии с ГОСТ 26645–85 для отливок различных способов установлены: 16 классов размерной точности, 22 степени точности, 11 степеней коробления отливки, 16 классов точности массы.

Получение конкретного класса точности размеров связано не только с качеством точности размеров деталей, получаемых механической обработкой, но и с типом производства (массовое, серийное, единичное), а также сложностью формы отливки.



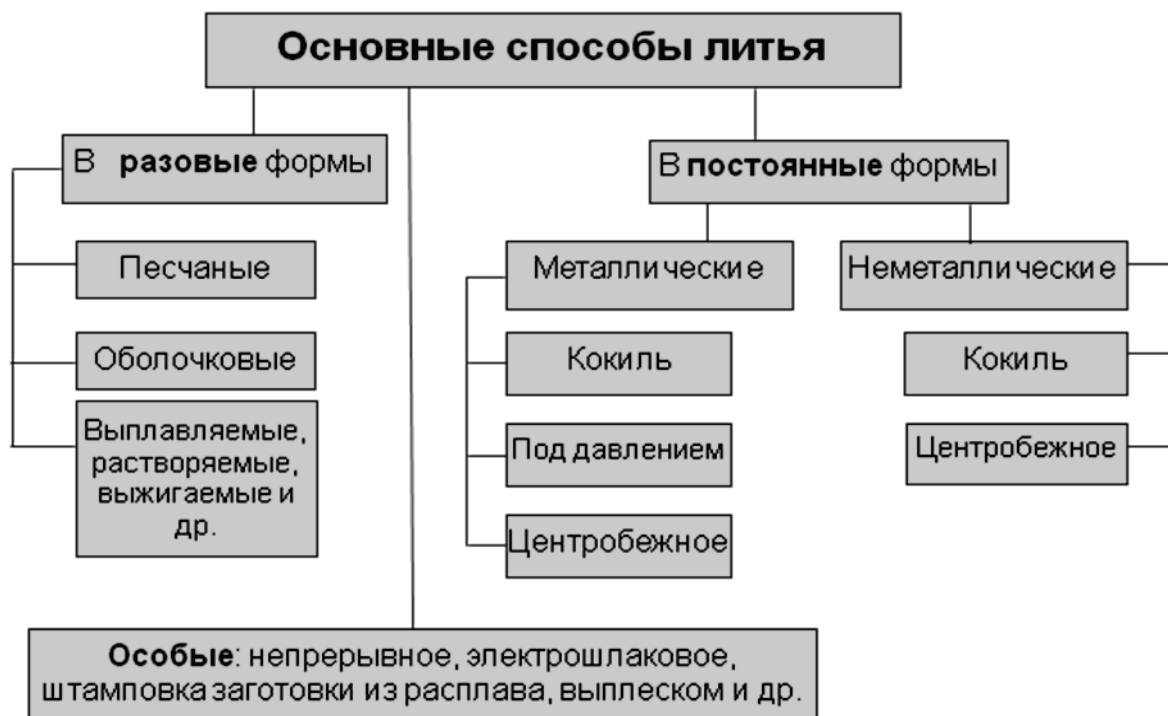


Рис. 5. Классификация способов литья

Способы изготовления отливок и их область применения представлены в табл. 3.

Таблица 3

**Способы изготовления отливок, область применения**

Способ литья	Материал	Масса отливки, т	Область применения и особенность способа
В песчаные формы	Стали, чугуны, цветные металлы и сплавы	До 200	Отливки тел вращения, станины, корпуса машин, головки и блоки цилиндров ДВС
Под давлением	Стали, магниевые, алюминиевые, цинковые и свинцово-оловянные сплавы	До 0,1	Тройники, детали приборов бытовой техники, блок ДВС
В металлические формы	Стали, чугуны, цветные металлы и сплавы	До 7	Фасонные отливки (поршни, коробки передач, корпуса)
По выплавляемым моделям	Высоколегированные стали и сплавы, титан	До 15	Лопатки турбин, клапаны, шестерни, режущий инструмент, тонкостенные отливки $s = 0,8$ мм, диаметр отверстия до 1 мм
В оболочковые формы	Стали, чугуны, цветные металлы и сплавы	До 40	Ответственные фасонные мелкие и средние отливки, точные отливки с низкой шероховатостью, станины молотов

Классы точности размеров отливок по ГОСТ 26645–85 соответствуют для конкретного способа литья качеству точности по ГОСТ 25346–82. Шероховатость поверхностей отливок зависит от их степени точности (ГОСТ 26645–85). С повышением численного значения степени точности отливки высота микронеровностей становится больше. Так для литья в песчаные формы степень точности для отливок из различных материалов находится в пределах 7–22, что соответствует шероховатости  $R_a = 8–100$  мкм. Для отливок, полученных специальными способами литья, например, литьем под давлением (2-я степень точности), шероховатость поверхности  $R_a \geq 2$  мкм.

Качеству точности размеров заготовок после механической обработки IT 8, IT 9 соответствует по ГОСТ 26645–85 1–3-й классы точности размеров литой заготовки, а для IT 10–IT 13 – 9–16-й классы точности размеров отливок.

### **Вопросы для самопроверки**

1. Технологические свойства материалов.
2. Литейные сплавы и их технологические свойства.
3. Технологические возможности и область применения различных методов литья.

### **Лекция 5. Литье в песчаные формы. Требования к технологическим процессам литья в песчаные формы. Основные операции и технические требования к ним. Перспективы и проблемы метода**

Литье в песчаные формы – самый распространенный способ литья. В машиностроении им изготавливают 75–80 % отливок (по массе). В песчаных формах можно получить отливки самой сложной конфигурации и массой от нескольких граммов до сотен тонн. Получаемые заготовки характеризуются низкой точностью, высокими параметрами шероховатости и большими припусками на механическую обработку. В песчаных формах получают отливки из стали, чугуна, реже – из цветных металлов. Этот способ применяется в единичном и серийном производствах [6].

Сущность литья в песчаные формы заключается в изготовлении отливок свободной заливкой расплавленного металла в разовую разъемную и толсто-стенную литейную форму, изготовленную из формовочной смеси по многократно используемым модельным комплектам (деревянным или металлическим), с последующим затвердеванием залитого металла, охлаждением отливки в форме, извлечением ее из формы с последующей отделкой.

Технологическая универсальность *литья в песчаные формы* обуславливает его экономическую целесообразность для *единичного, серийного и массового производства*.

Этим способом изготавливают до 60 % от всего количества литых заготовок. Точность отливок – 14–20 квалитет, шероховатость поверхности  $Rz = 40\text{--}400$  мкм. Максимальный коэффициент массовой точности составляет 0,71; выхода годного металла – 0,3–0,5 [3].

**Типовая технология изготовления отливок** состоит из нескольких этапов.

1. Нанесение на чертеж детали контуров модели и соответствующих литейных указаний.

2. Разработка технологической карты. Записывают последовательность выполнения операций и способ изготовления отливки, приводят перечень указаний по изготовлению модельного комплекта, стержневых ящиков, изготовлению формы и стержней, заливке металла, выбивке отливки из формы, очистке, термообработке и контролю.

3. Разработка чертежа (или эскиза) собранной формы со всеми необходимыми сечениями и размерами.

Процесс изготовления отливок включает: изготовление моделей и стержневых ящиков, приготовление формовочных и стержневых смесей, изготовление форм и стержней, сборка и заливка форм, выбивка отливок из форм, очистка и обрубка отливок, термообработка.

Формовочные смеси для мелких и средних по массе стальных отливок готовят из кварцевых песков с малым содержанием глины, а в качестве связующего используют огнеупорную глину (бетонит).

Формы для чугунных отливок изготавливают из формовочной смеси, приготовляемой из глинистых песков.

В смесь для форм из медных сплавов в качестве противопригарного средства добавляют мазут. Смеси для форм из алюминиевых сплавов должны обладать высокой податливостью из-за их низкой прочности при повышенных температурах [6].

Формовка – процесс изготовления литейных форм из формовочных материалов.

Операции формовки:

- уплотнение смеси;
- устройство в форме вентиляционных каналов;
- извлечение модели из формы;
- сборка формы.

Формовка может производиться вручную, на специальных формовочных машинах или на автоматических линиях [3].

**Ручная формовка.** Существует несколько основных способов ручной формовки: формовка в почве, формовка в опоках (рис. 6).

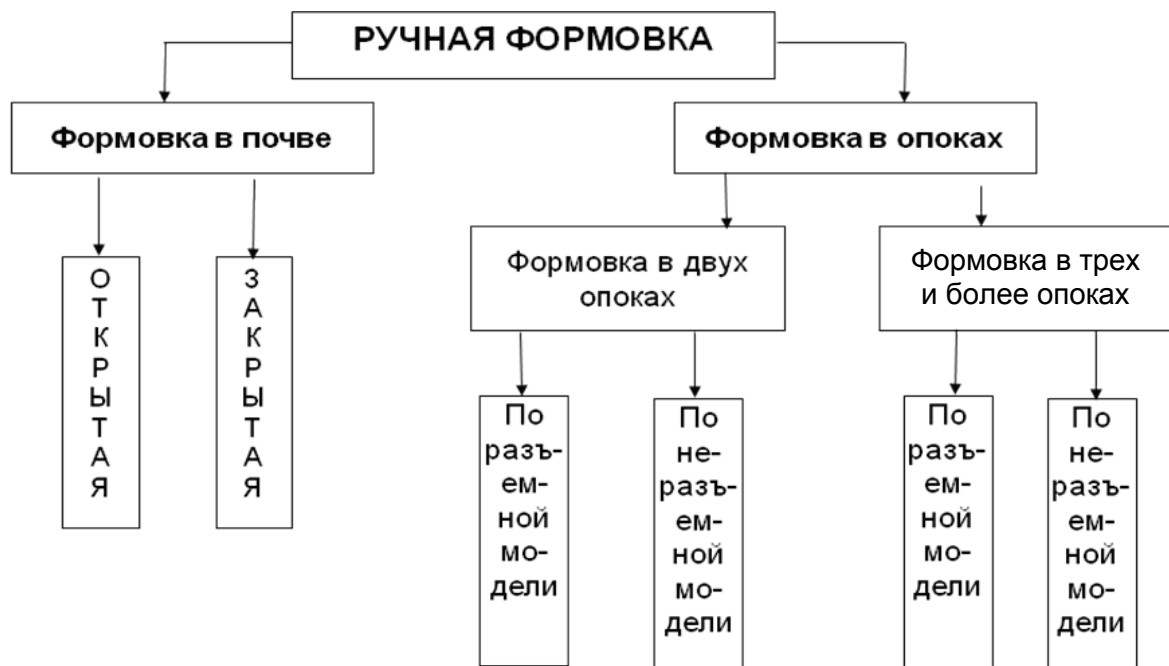


Рис. 6. Классификация способов ручной формовки

Формовка в почве – процесс изготовления форм на земляном плацу формовочного отделения. Способ прост, не требует специального оборудования, однако имеет большой объем ручных работ, выполняемых формовщиками высокой квалификации.

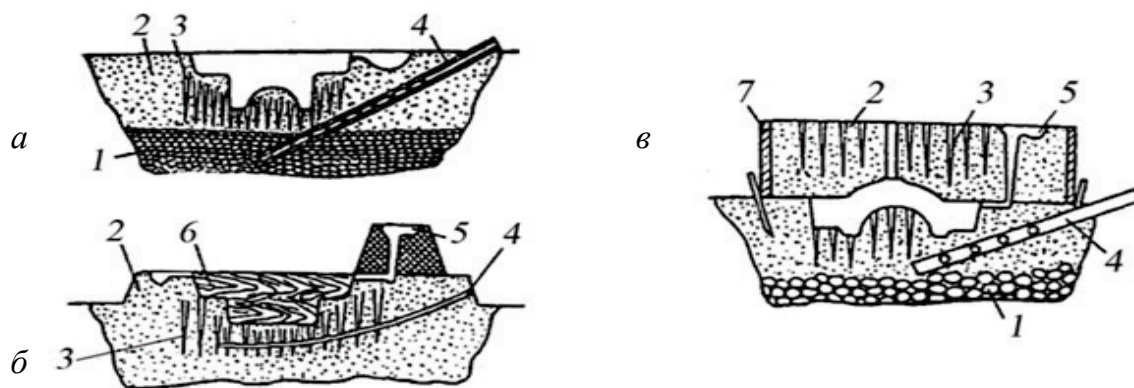


Рис. 7. Почвенная формовка:  
 а, б – открытая, в – закрытая; 1 – постель; 2 – земля;  
 3, 4 – вентиляционные каналы;  
 5 – литниковая система; б – модель; 7 – опока

Открытая почвенная формовка применяется для изготовления отливок с плоской верхней стороной (рис. 7, а, б).

Для изготовления крупных и тяжелых отливок применяется закрытая почвенная формовка, при которой верхняя часть отливки получается в опоке, а нижняя – в твердой постели (рис. 7, в).

### Формовка в опоках

Формовка в двух опоках по разъемной модели является самым распространенным способом изготовления разовых песчаных форм. Разъемную модель применяют, как правило, в тех случаях, когда модель не имеет плоской поверхности (рис. 8).

Иногда при изготовлении сложных отливок одна плоскость разъема не позволяет извлечь модель из верхней и нижней полуформ. В этих случаях применяют формовку в трех и большем числе опок, т. е. форма имеет две и больше поверхностей разъема.

Машинная формовка обеспечивает высокие требования, предъявляемые к отливкам.

Основные технологические особенности машинной формовки следующие: изготовление форм в двух опоках; замена всех боковых отъемных частей модели стержнями.

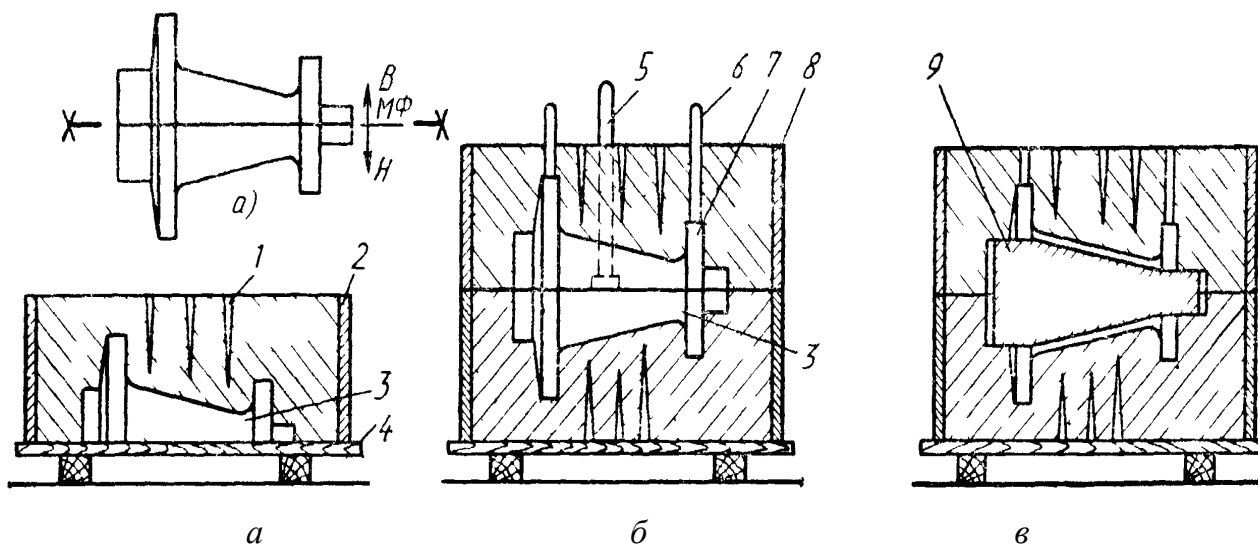


Рис. 8. Изготовление формы в двух опоках по разъемной модели:

а – положение отливки в форме; б – одна из полуформ отливки;

в – устройство литниковой питающей системы и другие элементы;

г – расположение стержня в опоке; 1 – вентиляционные каналы; 2 – нижняя опока;

3 – нижняя половина модели; 4 – модельная плита; 5 – стояк; 6 – выпор;

7 – верхняя половина модели; 8 – опока; 9 – стержень

Применяется *формовка в двух опоках* по разъемной или неразъемной модели.

По методам уплотнения смеси *формовочные машины* (рис. 9) классифицируют на встряхивающие; прессы; импульсные; пескодувные; пескометы; вакуумные; специальные.

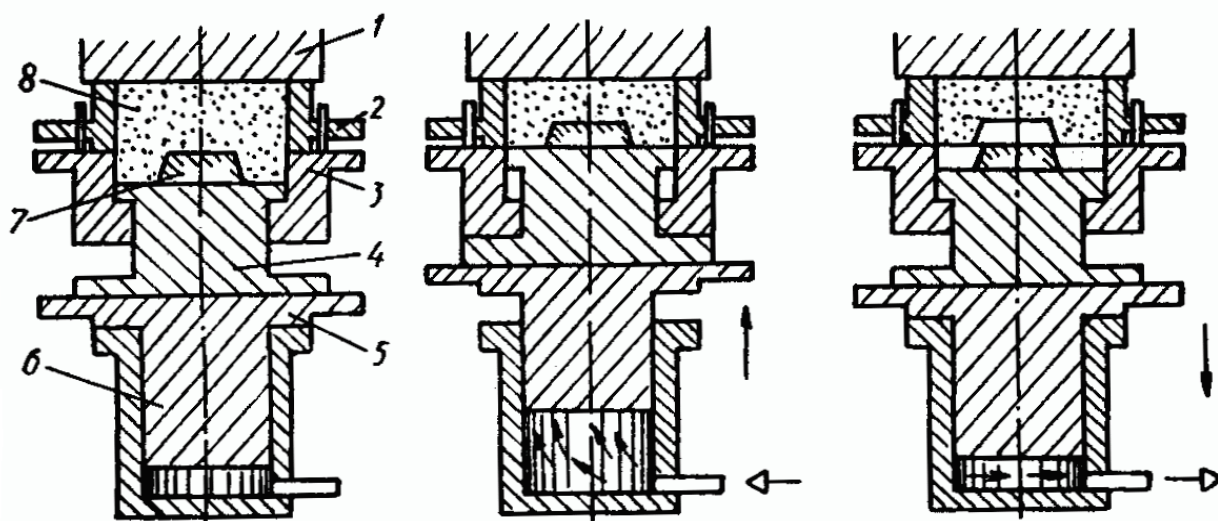


Рис. 9. Схема формовочной машины.

1 – плунжер; 2 – опока; 3 – стол; 4 – плита модельная;  
5 – корпус; 6 – поршень; 7 – модель

**Заливка литейных форм** – процесс заполнения полости литейной формы расплавленным металлом из ковшей. Ковш с расплавленным металлом от плавильных печей к месту разлива перевозят мостовым краном или по монорельсовому пути. При повышенной температуре заливки возрастает жидкотекучесть металла, улучшается питание отливок, но горячий металл более газонасыщен, сильнее окисляется, вызывает пригар на поверхности отливки. Низкая температура заливки увеличивает опасность незаполнения полости формы, захвата воздуха; ухудшается питание отливки [1].

**Охлаждение отливок** в литейных формах после заливки продолжается до температуры выбивки. Небольшие тонкостенные отливки охлаждаются в форме несколько минут, а толстостенные – массой 50–60 т – в течение нескольких суток и даже недель. Для сокращения продолжительности охлаждения отливок используют методы принудительного охлаждения: формы обдувают воздухом; в формы при формовке укладывают змеевики или трубы, по которым пропускают воздух или воду [1].

**Выбивка, обрубка и очистка отливок.** На поточных и автоматических линиях отливки выдавливают из опоки с комом смеси, а затем освобождают от смеси на выбивных решетках.

Остатки стержней после выбивки из форм удаляют из отливок пневматическими зубилами, на вибрационных машинах, в гидравлических камерах и электрогидравлических установках.

Отливки от литников отделяют с помощью молотков и пневматических зубил, абразивных кругов и прессов, ленточных и дисковых пил, также используют дуговую, газовую или анодно-механическую резку. В некоторых случаях прибыли отрезают на токарных станках.

Литники от чугунных отливок легко отбиваются при слабом ударе. От мелких отливок они отделяются в основном при выбивке форм. Оставшиеся на отливках литники отбивают молотками или обламывают на прессах. Прибыли и литники от крупных отливок из углеродистых и низколегированных сталей отделяют дуговой и газовой резкой. Для стальных отливок применяют механическую или анодно-механическую резку. Ленточные и дисковые пилы, механические прессы широко используют для отрезки литников и прибылей от отливок из алюминиевых, магниевых и медных сплавов.

Чугунные и стальные отливки обычно подвергают дробеметной очистке. На очищаемую поверхность дробь подается метательными головками 1 в виде турбинок, вращающихся с частотой до  $3000 \text{ мин}^{-1}$ . Дробь, выбрасываемая большой центробежной силой, ударяется о поверхность отливок 2 и очищает ее при вращении подвески 3 (рис. 10).

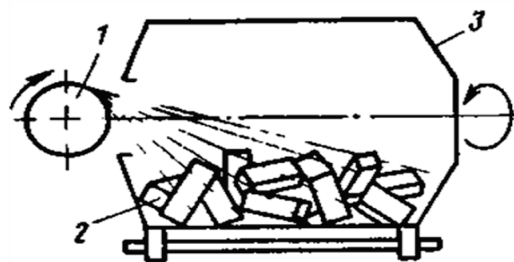


Рис. 10. Схема дробеметной очистки отливок

Очистку отливок галтовкой осуществляют в барабанах в результате их взаимного трения. Дробеструйной очистке нельзя подвергать отливки из мягких сплавов, так как это ухудшает качество их поверхностей. Для очистки отливок из алюминиевых сплавов вместо чугунной дроби используют кусочки алюминиевой проволоки [3].

### Вопросы для самопроверки

1. Типовая технология изготовления отливок литьем в песчаные формы.
2. Способы ручной формовки.
3. Способы автоматической формовки. Заливка, охлаждение, обрубка, очистка отливок.

## Лекция 6. Литьё в кокиль. Основные операции техпроцесса.

### Литьё в оболочковые формы

#### Литьё в кокиль

**Сущность процесса** – изготовление отливок заливкой расплавленного металла в многократно используемые металлические литейные формы-кокили с последующим затвердеванием залитого металла, охлаждением отливки и извлечением ее из полости формы [3].

**Кокиль** – металлическая форма, рабочие стенки которой выполнены из чугуна, стали, меди или алюминия (АЛ 11) с водоохлаждением. Стенки кокиля покрывают тонкослойными и толстослойными красками. Для крупных отливок толщина стенок кокиля  $\geq 30$  мм. Его используют многократно. С его помощью изготавливают отливки из стали, чугуна и цветных металлов в серийном и массовом производствах. По сравнению с литьем в песчаные формы при литье в кокиль расход металла уменьшается на 10–20 % за счет сокращения литниковой системы. Трудоемкость механической обработки вследствие уменьшения припусков и высокой точности размеров уменьшается в 1,5–2,0 раза. Кокильное литье целесообразно применять в условиях серийного производства при получении с каждой формы не менее 300–500 мелких или 50–200 средних отливок в год, а также для изготовления отливок простой конфигурации из медных, алюминиевых и магниевых сплавов, а также из стали и чугунов [3].

Точность отливок 12–15 квалитет. Шероховатость поверхностей  $Ra = 8–100$  мкм.

По конструктивному принципу кокили делят на *неразъемные* (вытряхные) (рис. 11) и *разъемные* (с вертикальной, горизонтальной, криволинейной плоскостью разъема) (рис. 12).

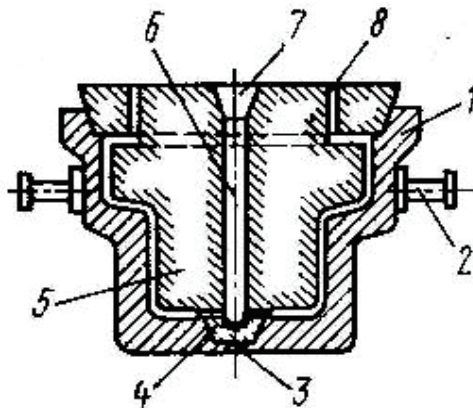


Рис. 11. Конструкция вытряхного кокиля для алюминиевой отливки:

- 1 – корпус кокиля; 2 – цапфы для поворота кокиля при выбивке отливки;  
3 – вентиляционные отверстия; 4 – стержневая вставка; 5 – стержень с верхним грибовидным знаком; 6 – стояк; 7 – литниковая воронка; 8 – выпоры



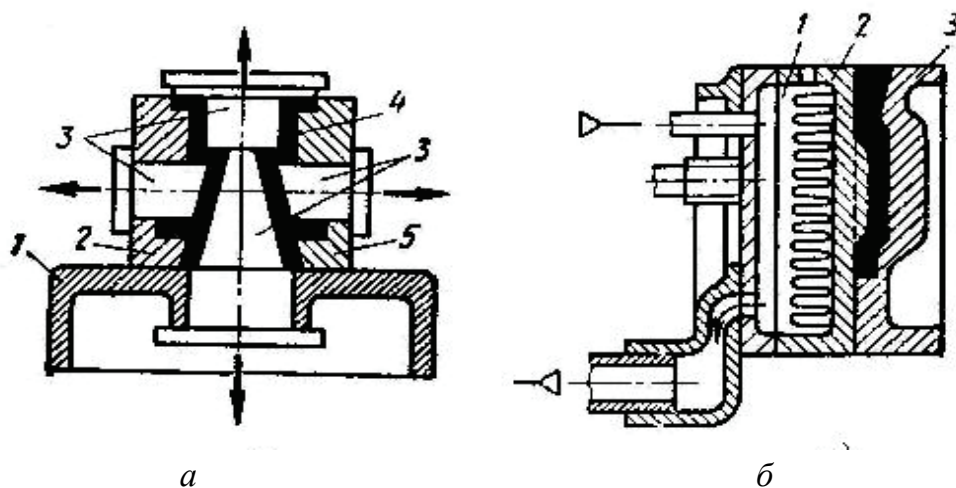


Рис. 12. Конструкции кокилей:

- а* – разъемного со стержнями: 1 – плита основания кокиля; 2 – левая полуформа; 3 – металлические стержни; 4 – отливка; 5 – правая полуформа;
- б* – с водяным охлаждением левой полуформы: 1 – полость в левой полуформе для подачи в нее воды; 2 – левая полуформа; 3 – правая полуформа

Технологический процесс литья в кокиль требует специальной подготовки кокиля к заливке и включает следующие операции:

- очистку рабочей поверхности кокиля от остатков отработанного покрытия, загрязнений и ржавчины;
- нанесение (пульверизатором или кистью) на предварительно подогретые рабочие поверхности кокиля специальных теплоизоляционных слоев и противопожарных красок;
- нагрев или охлаждение кокиля до оптимальной (для каждого сплава) температуры в пределах 115–475 °С;
- сборку формы;
- заливку расплава в форму;
- охлаждение отливок до установленной температуры выбивки;
- разборку кокиля с извлечением отливки.

Для удаления воздуха и газов из рабочих полостей кокилей широко используют естественные зазоры между элементами формы – разъемные и неразъемные стыки деталей кокиля. По этим стыкам устраивают газоотводные (вентиляционные) каналы глубиной 0,2–0,5 мм, выполняя их в виде рисок-насечек или тонких щелей. Глубокие полости вентилируются через специально устанавливаемые в стенках кокиля вентиляционные пробки и игольчатые вставки, имеющие газоотводные зазоры.

*Преимуществами кокильного литья* являются: возможность многократного использования форм; удобство автоматизации процесса труда; хорошие механические свойства отливок, обусловленные их мелкозернистой структурой,

формирующейся в условиях интенсивного теплообмена между отливкой и кокилем; высокая геометрическая точность размеров и малая шероховатость поверхности отливок; снижение припусков на механическую обработку; сокращение расхода формовочной смеси.

*Недостатками литья в кокиль* являются: трудоемкость изготовления кокилей, их высокая стоимость, отсутствие податливости, особенно при получении сложных фасонных отливок из легированных сталей и тугоплавких металлов. Кокильное литье применяется в массовом и серийном производстве для изготовления отливок из чугуна, стали, цветных сплавов с толщиной стенок от 3 до 100 мм, массой от нескольких граммов до нескольких сотен килограммов.

### **Литье в оболочковые формы**

**Литье в оболочковые формы** – это способ получения отливок свободной заливкой расплава в оболочковых формах.

Оболочковая (корковая) форма – разовая литейная форма, изготовленная из двух скрепленных рельефных полуформ с толщиной стенок 6–10 мм.

Оболочковые формы изготавливают из смеси, состоящей из мелкого кварцевого песка и крепителя – фенолоформальдегидной порошкообразной термоактивной смолы (пудвербакелита) на специальных автоматических или полуавтоматических машинах.

Способом литья в оболочковые формы получают отливки массой от 0,25 до 100 кг практически из любых литейных сплавов. Этим способом изготавливают ребристые мотоциклетные цилиндры, коленчатые валы автомобильных двигателей.

**Сущность способа** заключается в свободной заливке металла в оболочковую разовую форму. Материалы отливок: сталь, чугун, цветные сплавы.

**Точность основного размера отливок:** 5т–11, что соответствует 11–15-му качеству (ГОСТ 25347–82).

Параметр шероховатости  $R_z = 20\text{--}160$  мкм.

Масса отливки до 200 кг.

Способ применяют в серийном и массовом производствах [3].

*Основные технологические операции получения отливок:* изготовление оболочек, сборка (соединение) оболочек в формы, установка форм под заливку металлом, плавка металла и заливка форм, кристаллизация, выбивка, финишная обработка отливок.

Способом литья в оболочковые формы получают отливки из любых сплавов. *В сравнении с литьем в песчаные формы обеспечивается:* уменьшение ше-

роховатости поверхности, улучшение товарного вида, сокращение до 10 раз объема переработки формовочных материалов, снижение в 2 раза капитальных затрат, уменьшение металлоемкости формовочного оборудования. Недостатки: высокая стоимость смоляного связующего, вредоносность процесса изготовления форм, недостаточная прочность оболочек.

*Процесс изготовления оболочковой формы* состоит: из нагрева модельной оснастки; нанесения на рабочую поверхность подмодельной плиты разделительного покрытия, а также песчано-смоляной смеси; формирования и отверждения оболочки совместно с подмодельной плитой при температуре 300–400 °С; съема готовой полуформы с модельной плиты (рис. 13).

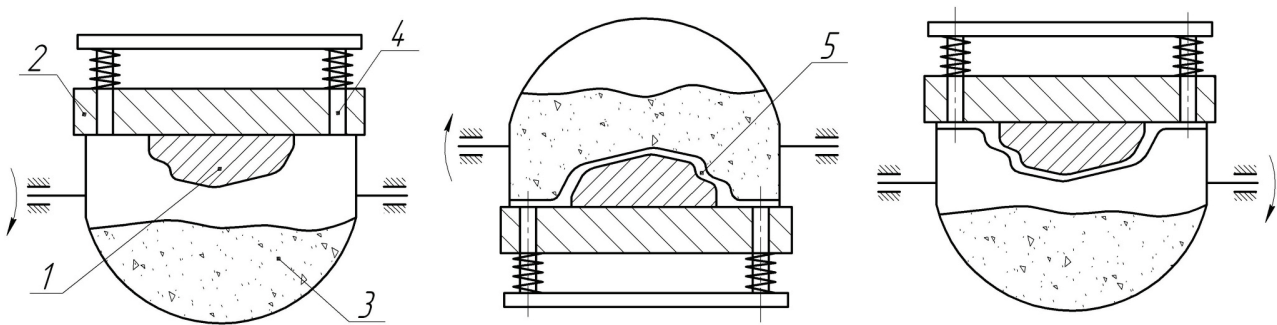


Рис. 13. Схема изготовления оболочковой формы:

- 1 – модель; 2 – подмодельная плита; 3 – песчано-смоляная смесь;  
4 – выталкиватели; 5 – оболочковая форма

*Преимущества* способа литья в оболочковые формы: возможность получения тонкостенных отливок сложной формы; гладкая и чистая поверхность отливок; небольшой расход смеси, в 8–10 раз меньше, чем при литье в песчано-глинистые формы; качественная структура металла за счет повышенной газопроницаемости форм и регулирования теплоотвода; широкая возможность автоматизации; небольшие допуски на обработку резанием.

*Недостаток* этого способа состоит в высокой стоимости материалов, оснастки и оборудования. Затраты на материалы, оснастку и оборудование окупаются при больших программах выпуска отливок, т. е. в крупносерийном и массовом производствах [1].

### Вопросы для самопроверки

1. Литье в кокиль: сущность процесса, область применения.
2. Виды кокилей. Технологический процесс литья в кокиль.
3. Литье в оболочковые формы. Сущность процесса, область применения.

## ЛЕКЦИЯ 7. ЛИТЬЕ ПОД ДАВЛЕНИЕМ. ОСНОВНЫЕ ОПЕРАЦИИ ТЕХПРОЦЕССА. ЦЕНТРОБЕЖНОЕ ЛИТЬЕ

### Литье под давлением

**Литье под давлением** – способ получения отливок из сплавов цветных металлов и сталей, максимально приближающий размеры и форму отливки к размерам и форме готовой детали. Это позволяет уменьшить или совсем исключить их последующую механическую обработку.

Литье под давлением осуществляется в металлических формах. Этому способу так же, как литью в кокиль, соответствуют очень малые времена остывания и кристаллизации отливок.

Сущность процесса литья под давлением (ЛПД) – расплав заполняет полость пресс-формы и затвердевает под давлением. Литые заготовки получают под высоким и регулируемым давлением [3].

При литье под давлением металлическая форма (пресс-форма) заполняется расплавом под избыточным давлением (до 300 МПа) так же, как и формирование отливки. Благодаря этому надежно обеспечивается заполняемость формы даже при пониженной температуре заливки расплава. После застывания отливки форма разъединяется и отливка извлекается [1].

Соответственно *классы точности размеров для отливок из цветных сплавов, чугунных и стальных по ГОСТ 26645–85 3т–9 (JT9–JT12) и 5т–13т (JT10–JT13)*. В скобках указан квалитет точности отливки, соответствующий классу точности размеров по ГОСТ 25347–82.

*Шероховатость поверхностей отливок от Rz 2,5 до Rz 40 мкм.*

*ЛПД в сравнении с другими способами литья наиболее точное. Изготавливают отливки из магниевых, цинковых сплавов и латуни, бронзы, титана, стали и чугуна [3].*

На рис. 14 представлена технологическая схема получения отливки. Скорость перемещения расплава  $V = 100$  м/с,  $P = 10–11$  МПа для цинка.

Особенности способа литья под давлением обусловлены условиями заполнения пресс-форм и питания отливок. Расплавленный сплав заполняет пресс-форму за доли секунды (0,001–0,6) при скорости до 120 м/с. С такой скоростью поступления сплава в форму турбулентный поток металла, ударяясь о стенку формы, разбивается на отдельные капли. При этом происходит закупорка вентиляционных каналов мелкодисперсными каплями металла. Вихревой поток расплава захватывает оставшиеся в полости формы газы – компоненты воздуха и пар от смазывающего материала, образуя при этом газометаллическую эмульсию, затвердевающую в форме.

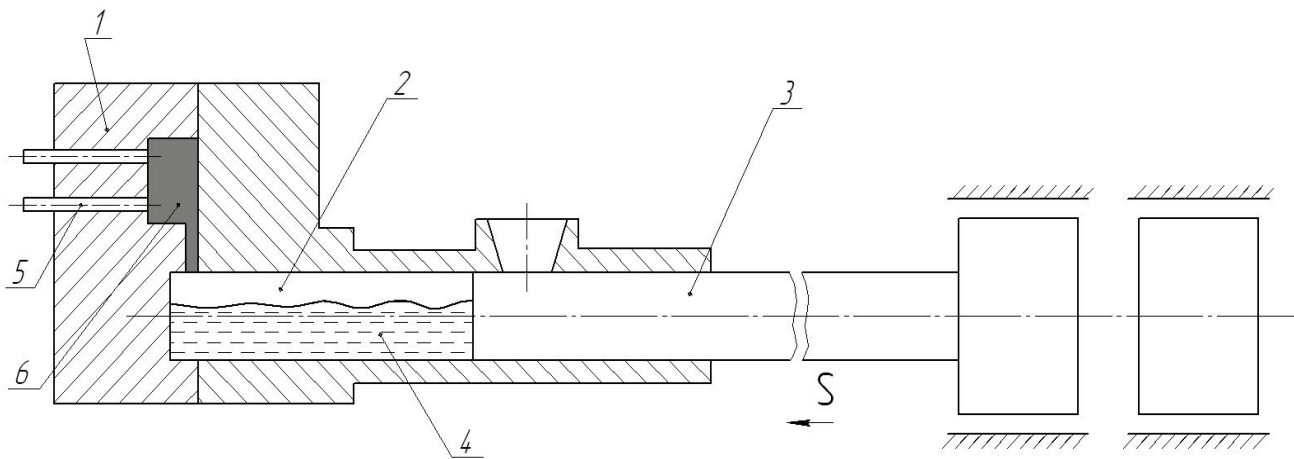


Рис. 14. Условная схема холодной горизонтальной камеры прессования:

1 – пресс-форма; 2 – камера прессования; 3 – поршень; 4 – расплав;  
5 – выталкиватели отливок; 6 – отливка

Вследствие этого отливки имеют специфический дефект – газовую пористость, низкую плотность, неудовлетворительные пластичность и механические свойства. Их нельзя подвергать термической обработке, так как при нагреве поверхность вспучивается вследствие расширения газа в порах.

В момент окончания заполнения полости формы движущийся с большой скоростью сплав мгновенно останавливается. Энергия движения потока преобразуется в энергию давления, которое мгновенно повышается. Происходит гидравлический удар, действующий в течение малого времени. Повышенное давление прижимает металл к рабочей поверхности пресс-формы и способствует четкому оформлению конфигурации отливки [1].

Качество отливок: на 1–2 класса по сравнению с кокильным литьем повышается точность размеров, в 2 раза уменьшаются припуски на обработку, в 1,5–2 раза повышается производительность (меньше время затвердевания отливки). Изготавливают отливки сложных контуров (наружных, внутренних), литые узлы сварно-литых конструкций.

*Преимущества* данного вида литья: высокая производительность, точность размеров и хорошее качество поверхности отливок, автоматизация процессов литья, снижение в 10 раз трудоемкости изготовления отливок по сравнению с литьем в песчаные формы, без механической обработки или с минимальными припусками, изготовление деталей с готовой резьбой.

*Недостатки литья под давлением:* высокая стоимость пресс-форм и оборудования; ограниченность габаритных размеров и массы отливок; наличие воздушной пористости в массивных частях отливок, снижающей прочность деталей, и др. Литье под давлением используют в массовом и крупносерийном производствах отливок [1].

## Центробежное литье

**Литье центробежное** – способ получения отливок, как правило, в металлических формах (изложницах), при котором расплавленный металл под действием центробежных сил отбрасывается к стенкам формы и затвердевает, образуя отливку. *Квалитет точности 9–14. Класс точности основного размера 3т – 9. Шероховатость поверхности  $Rz = 20–80$  мкм [3].*

Центробежным способом получают отливки из чугуна, стали и цветных сплавов (алюминия, цинка, меди, титана и др.) на литейных центробежных машинах. В зависимости от расположения оси вращения центробежные машины подразделяются: на машины с горизонтальной (рис. 15, а), вертикальной (рис. 15, б) и наклонной осью вращения. Внутренняя поверхность отливки при центробежном литье формируется без непосредственного контакта с литейной формой и без стержней [1].

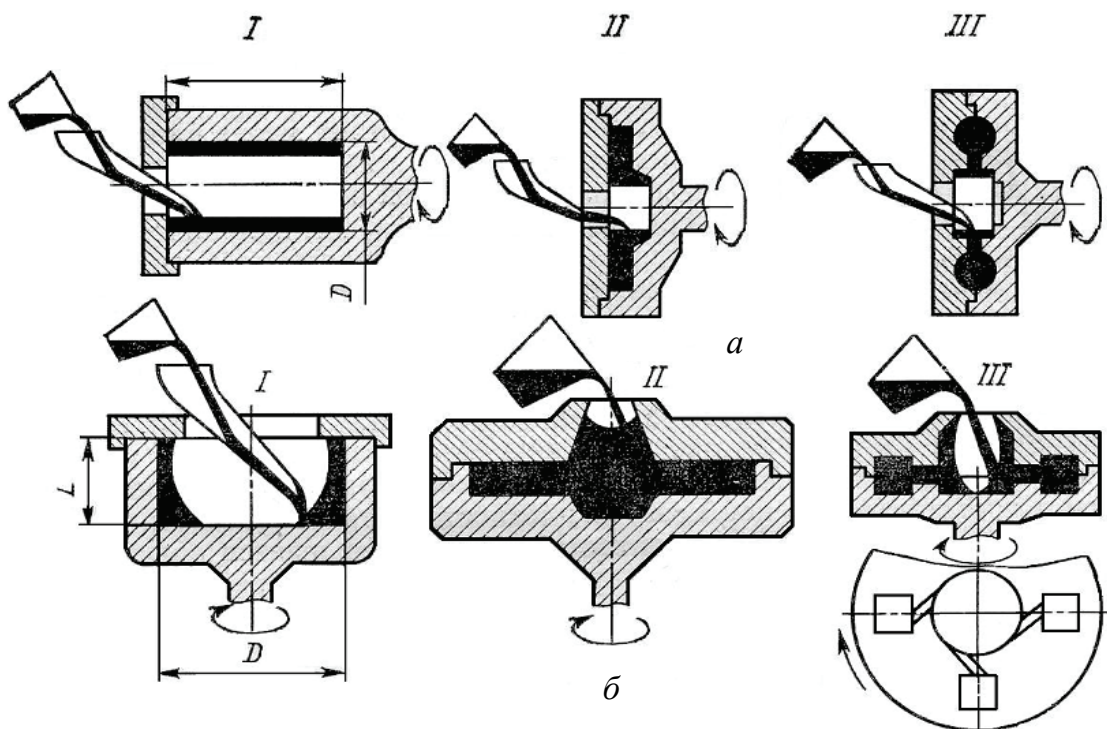


Рис. 15. Схемы центробежного литья

Расплав заполняет полость литейной формы и затвердевает под воздействием центробежной силы  $P$ , значительно превышающей силу тяжести  $F_m$ . Центробежная сила действия на металл при частоте  $n$  вращения формы:

$$P = m r \omega^2, \quad (10)$$

где  $m$  – вращающаяся масса жидкости в рассматриваемой точке, кг;

$r$  – радиус вращения, м;

$\omega$  – угловая скорость, рад/с.

При оптимальной частоте вращения происходит хорошее заполнение форм жидким металлом, неметаллические включения, шлаки и газовая пористость оттесняются к внутренней поверхности отливок. В случае превышения оптимальных значений частоты вращения в отливке возрастает ликвация, а также опасность образования в ней трещин из-за роста давления. При невысоких частотах вращения отливка плохо очищается от шлаков и газов, в результате чего приобретает шероховатую поверхность.

Литейные формы (изложницы) предварительно нагревают или охлаждают до 300 °С, затем на рабочую поверхность наносят огнеупорное покрытие в виде красок, облицовок из сыпучих материалов. Это повышает стойкость изложниц, снижает скорость охлаждения отливки, предупреждает образование спаев и трещин [6].

Этот способ литья широко используется в промышленности, особенно для получения пустотелых отливок со свободной поверхностью – чугуновых и стальных труб, колец, втулок, цилиндрических или конических барабанов (обечаек) и др.

Центробежное литье применяют для получения пустотелых отливок типа тел вращения (втулки, роторы). Фасонные отливки получают в центробежных машинах с вертикальной осью вращения в песчаных, металлических, керамических и других формах.

*Преимущества* данного способа литья:

- высокий выход годного литья (90–95 %);
- получение высокой плотности и мелкозернистости металла за счет больших скоростей охлаждения;
- возможность получения тонкостенных отливок из сплавов с низкой жидкотекучестью;
- возможность получения двухслойных отливок (поочередно заливают в форму различные сплавы: сталь-бронза, сталь-чугун и др.);
- большая производительность и возможность автоматизации.

*Недостатки* способа:

- химическая неоднородность в толстостенных отливках; возможность деформации формы под давлением жидкого металла;
- разностенность по высоте отливок, полученных в центробежных машинах с вертикальной осью вращения;
- высокие внутренние напряжения в поверхностном слое, способствующие образованию трещин.

### **Вопросы для самопроверки**

1. Литье под давлением: сущность процесса, область применения.
2. Центробежное литье: сущность процесса, область применения.
3. Центробежное литье: достоинства и недостатки.

## ЛЕКЦИЯ 8. ЛИТЬЕ ПО ВЫПЛАВЛЯЕМЫМ МОДЕЛЯМ. ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА И КАЧЕСТВО ОТЛИВОК

### Литье по выплавляемым моделям

**Литье по выплавляемым моделям** – это способ получения фасонных отливок из металлических сплавов в неразъемной оболочковой форме, рабочая полость которой образована удалением литейной модели выжиганием, растворением или выплавлением в горячей воде.

*Точность основного размера отливки 3–9 ГОСТ 26645–85, что соответствует 10–14 квалитетам ГОСТ 25347–82. Шероховатость поверхности  $Rz = 10–20$  мкм. Применяется в серийном и массовом производствах, а также опытном и мелкосерийном [3].*

Область применения – отливки из высоколегированных сталей и сплавов (лопатки газотурбинных двигателей, клапаны, шестерни, режущий инструмент). Масса отливки от 0,10 до 40 т.

Удаление остатков модельного состава и упрочнение оболочки достигается прокаливанием формы при высокой температуре. Заполнению тонких и сложных по конфигурации полостей формы способствует ее нагрев перед заливкой.

Технология литья по выплавляемым моделям является многооперационной.

Разовые выплавляемые модели изготавливают в пресс-формах из модельных составов, состоящих из двух или более легкоплавких компонентов (парафина, стеарина, воска, канифоли).

Выплавляемую модель 3 (рис. 16, а) отливки 1 получают путем заполнения металлической пресс-формы 2 жидким или пастообразным модельным составом (воск, парафин) [1].

Жидким модельным составом пресс-форму заполняют свободной заливкой или под давлением. Пастообразным модельным составом пресс-форму заполняют запрессовкой твердожидкого состава с 8–20 % воздуха. В пресс-формах модельный состав затвердевает и остывает. Затем модели отливок извлекают и объединяют в блоки путем соединения с отдельно изготовленными выплавляемыми моделями литниковой системы 4 (рис. 16, б). Для получения оболочковой формы полученный модельный блок помещают в огнеупорную суспензию (пылевидный кварц, электрокорунд ( $Al_2O_3$ )) (рис. 16, в), вынимают и обсыпают песком (рис. 16, г), кварцевым песком, крошкой шамота. Полученное огнеупорное покрытие подвергают сушке на воздухе или в парах аммиака (рис. 16, д). Затем на блок наносятся второй и последующие слои. Первый слой обсыпают мелкозернистым песком (размер частиц 0,2–0,315 мм); последующие слои – крупнозернистым песком.





Заливка металла (рис. 16, к) осуществляется в горячие или охлажденные формы. Температура формы зависит от состава литейного сплава, °С: при заливке стали она составляет 800–900 °С, сплавов на основе никеля – 900–1000, меди – 600–700, алюминия и магния – 200–250 [1].

Качество металла отливки и его свойства зависят от состава сплава, условий его плавки и заливки расплава в форму, а также от характера процесса кристаллизации отливки.

Благодаря термостойкости и прочности высокоогнеупорных оболочковых форм при литье по выплавляемым моделям достаточно широко используется направленная кристаллизация отливок. Это обеспечивает формирование столбчатой и монокристаллической структур с высоким уровнем физико-механических и других эксплуатационных свойств.

*Достоинствами* литья по выплавляемым моделям являются возможность получения отливок сложной конфигурации; высокое качество поверхности и точность размеров отливок; минимальные припуски на механическую обработку; использование практически любых сплавов; обеспечение качественной равноосной, столбчатой и монокристаллической структуры с высоким уровнем эксплуатационных свойств.

К *недостаткам* этого способа литья следует отнести многооперационность, трудоемкость и длительность процесса, многообразие материалов, используемых для изготовления формы [1].

### **Термическая обработка и качество отливок**

Вид термообработки (отжиг, нормализация, закалка, отпуск) определяется природой сплава, конфигурацией отливки и техническими условиями.

Для *чугунных отливок* термообработку применяют для снятия внутренних напряжений, стабилизации размеров, снижения твердости и улучшения обрабатываемости, повышения механических свойств или износостойкости. Графитизирующий отжиг (850–980 °С) применяют для графитизации первичных карбидов в чугунах всех видов. При получении ковкого чугуна из белого этот вид термообработки является обязательным. При нормализации и закалке чугунных отливок улучшаются механические свойства [4].

*Стальные отливки* подвергают термической обработке в два этапа (отжиг и нормализация) для снятия внутренних напряжений, измельчения структуры и уменьшения твердости перед механической обработкой. При окончательной термической обработке стальные отливки подвергают нормализации и отпуску, закалке и отпуску.

Качество *отливок из алюминиевых и магниевых сплавов* улучшают путем старения, отжига, закалки или закалки с последующим искусственным старением.

Распространенные **дефекты отливок**: недолив, перекос, коробление, нарост, трещины, газовые раковины, шлаковые раковины (рис. 17).

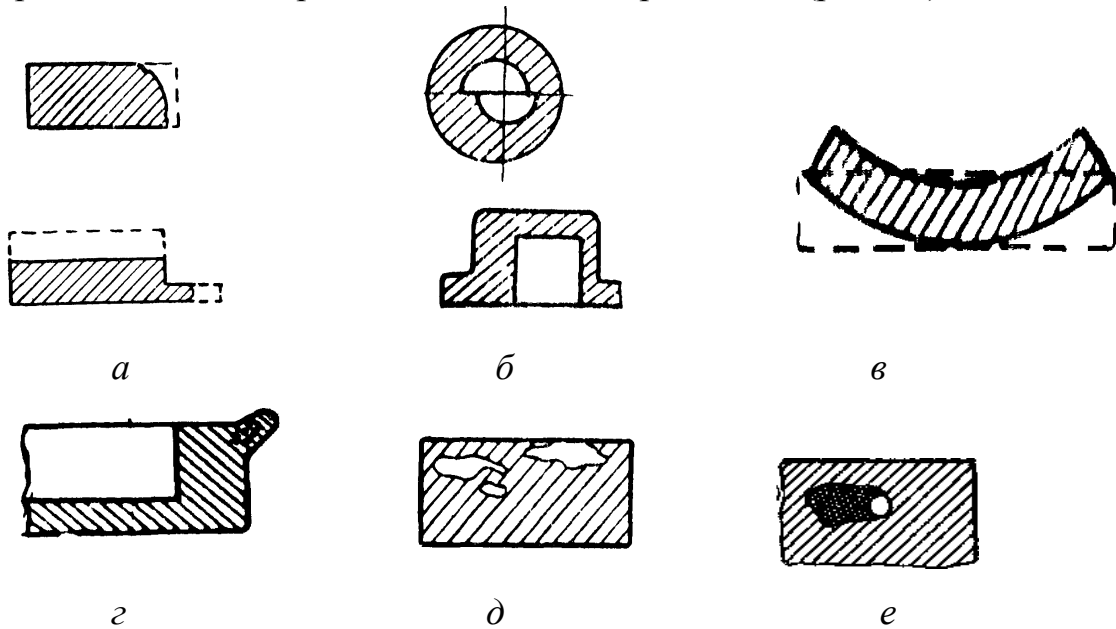


Рис. 17. Дефекты отливок:

*a* – недолив; *б* – перекос и разностенность; *в* – коробление; *г* – нарост;  
*д* – газовые раковины; *е* – шлаковые раковины

**Дефекты в отливках исправляют** пропиткой, зачисткой, заваркой, металлизацией и т. д.

*Пропитка* является основным способом исправления пористых отливок. Пропитку отливки производят для улучшения ее герметичности, внутренней антикоррозионности. Для пропитки широко используют бакелитовый и асфальтовый лаки, натуральную олифу, жидкое стекло и этилсиликат.

*Зачистку* отливок производят ручным способом, на шлифовальных и наждачных станках, во вращающихся галтовочных барабанах, пескоструйным способом и др.

*Заварку* применяют для устранения наружных раковин.

*Дефекты механически обработанных стальных отливок* исправляют пайкой. Для пайки применяют твердые припои Cu – Ni, Cu – Ag и др.

*Поверхностные дефекты* заделывают пастами, состоящими из наполнителя (каменной муки, цемента, металлической стружки), связующего (жидкого стекла, эпоксидной смолы) и отвердителя [3].

### Вопросы для самопроверки

1. Литье по выплавляемым моделям: сущность процесса, область применения.
2. Технологический процесс литья по выплавляемым моделям.
3. Термическая обработка и качество отливок.

## РАЗДЕЛ 3. ПОЛУЧЕНИЕ ЗАГОТОВОК МЕТОДАМИ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ

### Лекция 9. Виды обработки металлов давлением, ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ, ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ.

#### ТЕРМИЧЕСКИЙ ИНТЕРВАЛ КОВКИ-ШТАМПОВКИ. НАГРЕВ ЗАГОТОВОК

Способы обработки металлов давлением по производственному назначению разделяют на два вида:

– металлургические, предназначенные для получения заготовок постоянного поперечного сечения (прутков, проволоки, листов и др.), применяемых в качестве заготовок для последующего изготовления из них деталей с помощью предварительного пластического формоизменения и обработки резанием; основными металлургическими способами обработки давлением являются прокатка, волочение и прессование [2];

– машиностроительные, предназначенные для получения деталей или заготовок, имеющих форму и размеры, приближенные к форме и размерам деталей; основными способами получения деталей заготовок в машиностроении обработкой давлением являются ковка и штамповка [2].

Прокатка (рис. 18, *а*) заключается в обжатии заготовки 2 между вращающимися валками 1.

Прессование (рис. 18, *б*) заключается в продавливании заготовки 2, находящейся в замкнутой форме 3, через отверстие матрицы 1.

Волочение (рис. 18, *в*) заключается в протягивании заготовки 2 через сужающуюся полость матрицы 1; площадь поперечного сечения заготовки при этом уменьшается и получает форму поперечного сечения отверстия матрицы.

Ковкой (рис. 18, *г*) изменяют форму и размеры заготовки 2 путем последовательного воздействия универсальными инструментами 1 на отдельные участки заготовки.

Штамповкой изменяют форму и размеры заготовки с помощью специализированного инструмента – штампа.

Листовой штамповкой (рис. 18, *д*) получают плоские и пространственные детали из заготовок, у которых толщина значительно меньше размеров в плане (лист, лента, полоса). Обычно заготовка деформируется с помощью пуансона 1 и матрицы 2.

При объемной штамповке (рис. 18, *е*) на заготовку, являющуюся обычно отрезком прутка, воздействуют штампом 1, причем металл заполняет полость штампа, приобретая ее форму и размеры.

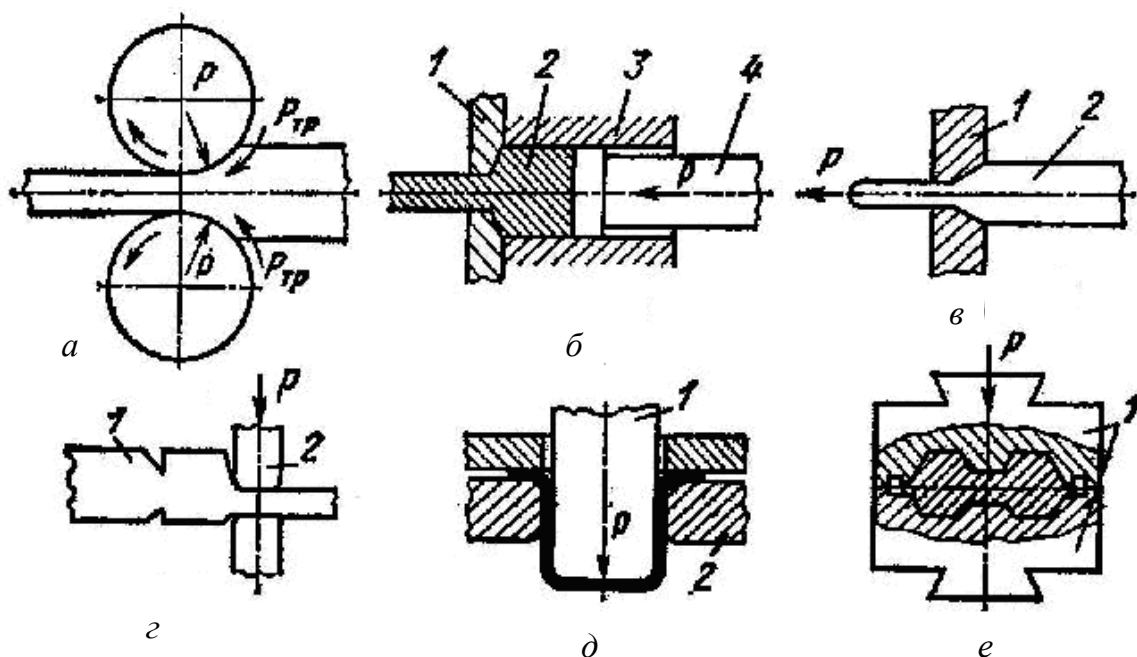


Рис. 18. Схемы основных видов обработки металлов давлением

В табл. 4 приведены характеристики методов изготовления заготовок давлением.

Основной задачейковки и объёмной штамповки, как и других видов обработки металлов давлением, является придание заготовке требуемой формы путём пластической деформации. Формообразование обработкой давлением основано на способности заготовок из металлов и других материалов изменять свою форму без разрушения под действием внешних сил. Обработка давлением – один из прогрессивных, экономичных и высокопроизводительных способов производства заготовок в машино- и приборостроении. Почти 90 % всей выплавляемой стали и 60 % цветных металлов и сплавов подвергают тем или иным способам обработки давлением – прокатке, прессованию, волочению, ковке, объёмной или листовой штамповке [2].

Обработкой давлением могут быть получены заготовки или детали из материалов, обладающих пластичностью, т. е. способностью необратимо деформироваться без разрушения под действием внешних сил. Нарушение сплошности строения материала деформируемой заготовки в большинстве случаев недопустимо и приводит к браку.

Кузнечно-штамповочное производство уступает литейному в возможной сложности конфигурации получаемых заготовок, но имеет преимущества в прочности и надёжности выпускаемой продукции (у металла, подвергнутого пластической деформации, выше механические свойства, чем у литого металла аналогичного химического состава). Поэтому наиболее ответственные детали машин изготавливают из кованных и штампованных заготовок [2].

## Технические характеристики методов изготовления заготовок давлением

Метод изготовления заготовок давлением	Масса (или размер) заготовки		Форма заготовки	Точность размеров	Шероховатость поверхности, мкм
	Максимальная	Минимальная			
Ковка: свободная на молотах и прессах	250 т	Толщина стенки 3–5 мм	Простая	IT 18–19	160–320
	100 кг	То же	Средней сложности	IT 17–18	160–320
	Диаметр прутка (трубы) порядка 100 мм	Диаметр прутка порядка 1 мм	Ступенчатые тела вращения	0,04–0,4 мм – холодная; 0,6 мм – горячая ковка	0,32–0,63
Штамповка: на молотах и прессах	200 кг	Толщина стенки 2,5 мм	Ограничена возможностью извлечения заготовки из штампа	IT 15–16	160–320
	100 кг	То же	То же	0,05–0,1 мм	10–40
	100 кг	0,1 кг	Средней сложности, в основном тела вращения	IT 15–16	160–320
	100 кг	Толщина стенки 2,5 мм	Средней сложности	На 25–30 % выше, чем на молотах	80–320
Фасонная вальцовка на ковочных зальцах	50 кг	То же	То же	IT 15–16	160–320

## Термический интервалковки–штамповки

*Термический интервалковки–штамповки* – это интервал между максимальной температурой нагрева и минимальной температурой, при которой заканчиваетсяковка–штамповка. Верхний предел температуры не должен достигать температуры *пережога*. Пережог – неисправимый дефект нагрева. Пережог выражается в интенсивном окислении границ зёрен, и как следствие, охрупчивании металла, полной потери им прочности и пластичности. Нижний предел температуры должен обеспечить достаточную пластичность материала. Температуру начала обработки давлением следует назначать на 50–100 °С ниже температуры солидуса сплава. Практически этот интервал для каждого сплава устанавливают по результатам комплекса испытаний. Для стандартных марок материалов температурный интервал обработки давлением определяют по соответствующему справочнику.

Особенно тщательно необходимо соблюдать режим нагрева титановых сплавов. Титановые сплавы хороши своими эксплуатационными свойствами, в том числе химической инертностью. Они не вступают в реакцию даже с морской водой. Но это свойство сохраняется только до температуры 500 °С. При более высокой температуре титановые сплавы становятся исключительно химически активными. Они взаимодействуют даже с воздухом, поглощая из него кислород, азот и, что самое вредное, водород. На поверхности появляется дефектный так называемый альфированный слой, обладающий крайне низкими эксплуатационными свойствами и крайне плохо поддающийся удалению при дальнейшей механической обработке. Большие преимущества даёт изотермическая обработка титановых сплавов.

В табл. 5 представлены значения температурных интервалов для некоторых сплавов.

Таблица 5

Значения термических интервалов для сплавов

Вид сплава		Предел, °С	
		верхний	нижний
Стали	Различного химического состава	1100–1300	950–800
Алюминиевые		470–500	400–350
Медные		700–900	550–800
Магниевые		370–430	300–350
Титановые		1000–1150	700–950

Нагрев желательно производить с наибольшей скоростью. При этом меньше растёт зерно, снижается отход в окалину (угар). Наибольшая технически

возможная скорость нагрева зависит от теплопроводности, теплоёмкости металла, диаметра заготовки, температурного напора печи и некоторых других факторов.

Однако при большой скорости нагрева наблюдается значительный температурный градиент от верхних слоев к внутренним. Это предполагает возникновение трещин. Поэтому от *технически возможной* следует отличать *допустимую* скорость нагрева. Для слитков и заготовок с большим сечением применяют ступенчатый нагрев: заготовку медленно прогревают до 600–700 °С, а затем с большой скоростью до конечной температуры. Кроме того, поверхность нагреваемого металла претерпевает существенные изменения. Так, например, при нагреве стали толщина обезуглероженного слоя может достигать 1,5–2 мм. Чтобы знать, каким временем можно располагать для выполнения тех или иных ковочно-штамповочных операций, необходимо знать скорость охлаждения металла. На практике для этого используют специальные диаграммы или рассчитывают время остывания по эмпирической формуле

$$t_{ост} = 0,006 \cdot \Delta T \cdot d, \quad (11)$$

где  $t_{ост}$  – время остывания заготовки, с;

$\Delta T$  – допустимый интервал остывания, °С;

$d$  – диаметр или толщина заготовки, мм.

Но так как при ковке-штамповке большая часть энергии деформации превращается в тепловую, температура металла во время деформации не снижается. Наибольшие потери теплоты происходят до и после деформации. Продлить пребывание металла при температурековки-штамповки желательно для трудоёмких процессов. Например, при ковке крупных поковок из слитков и при обработке сплавов, имеющих узкий температурный интервал, для этого применяют замедлители охлаждения – асбестовые изоляторы, индукционные подогреватели.

Для поддержания необходимой температуры приходится осуществлять и повторный нагрев.

### *Нагревательные устройства*

Оборудование, применяемое для нагрева заготовок перед обработкой давлением, подразделяется на *нагревательные печи* и *электронагревательные устройства*.

К *нагревательным печам* (камерным и пламенным) относят оборудование, в котором теплота к заготовке передаётся конвекцией и излучением от нагревательной камеры. Нагрев в печах порождает окалину. Слой окалины при нагреве



углеродистой стали, состоящей из FeO, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>, может составлять 1–2 % от массы заготовки. Это приводит не только к значительной потере металла, но и к дополнительным трудностям по предварительной очистке заготовки перед обработкой. Вдавливаясь при обработке давлением в тело заготовки, окалина вызывает необходимость увеличения припуска на механическую обработку, приводит к преждевременному износу как штампов, так и обрабатываемого инструмента.

Эти недостатки устраняет *индукционный нагрев*. Он позволяет создать новое высокопроизводительное автоматическое оборудование, объединяющее в рабочем цикле машины, нагрев и штамповку. На производстве уже работают штамповочные автоматы по указанному типу. Важным техническим фактором при этом является возможность включения электрических штамповочных автоматов в поточные линии механической обработки. В этом случае для электрических штамповочных автоматов отпадает необходимость в сложном паровом, печном, нефтяном и вентиляционном хозяйстве, присущем современным кузнечным цехам. Такие автоматы по внешнему виду, габаритам приближаются к современным металлорежущим станкам. Как и станки, они питаются электроэнергией и сжатым воздухом. Для охлаждения индукторов применяют воду. Потери металла на окалину при индукционном нагреве до 10 раз меньше по сравнению с нагревом в печах. Так как нагрев осуществляется в течение нескольких секунд, поверхность детали остаётся чистой, не успевая покрыться окалиной.

В электронагревательных устройствах теплота выделяется непосредственно в самой заготовке в виде теплоты сопротивления при пропускании через неё большой силы тока либо при возбуждении в ней вихревых токов в специальных индукционных печах. Приспособление для индукционного нагрева заготовки имеет небольшой вес и габариты и поэтому может быть встроено в штамповочный пресс или располагаться непосредственно у молота, что более удобно.

Толщина нагреваемого слоя заготовки зависит от частоты переменного тока: чем она выше, тем более поверхностным и интенсивным будет нагрев. Поэтому для разогрева массивных заготовок иногда применяют промышленную частоту (50 Гц). Глубина прогрева в этом случае может достигать 25–30 % от толщины заготовки. Прогрев по всему сечению, т. е. центральной части заготовки, происходит за счёт теплопроводности. Электронагрев является более экологичным.

Серьёзными недостатками этих устройств являются ограничения по габаритам нагреваемых заготовок, требования их постоянного сечения, необходимость для каждого типа и размера заготовки иметь соответствующий индуктор. Кроме того, КПД индукторов относительно невелик.

## Вопросы для самопроверки

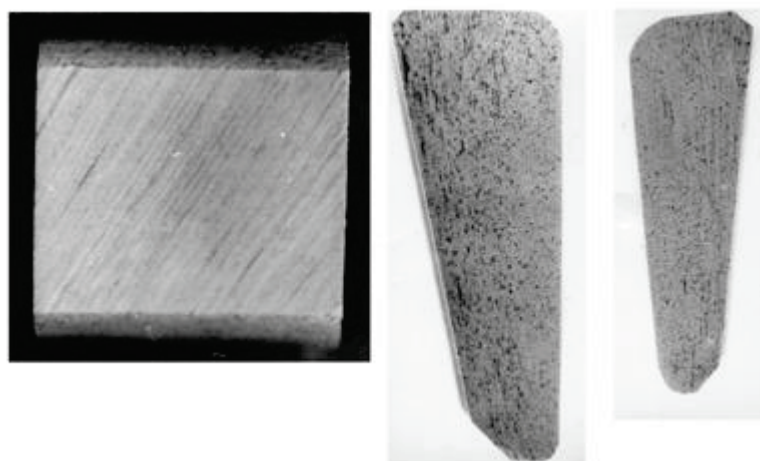
1. Виды обработки металлов давлением, область применения.
2. Техническая характеристика методов обработки металлов давлением.
3. Термический интервалковки-штамповки.

### Лекция 10. МАКРОСТРУКТУРА, ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА И КАЧЕСТВО ПОКОВОК.

#### КОВКА: СУЩНОСТЬ ПРОЦЕССА, ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ

#### Макроструктура

Для обеспечения высоких эксплуатационных свойств кованных деталей надо учитывать, что поковки всегда получаются с довольно выраженной волокнистой макроструктурой. Под действием приложенных сил происходят смещение и поворот зёрен металла. В результате структура металла, подвергнутого значительным пластическим деформациям, характеризуется вытянутыми зёрнами, ориентированными в направлении интенсивного течения металла. Структура приобретает строчечный характер. Границы зёрен, содержащиеся в них загрязнения и неметаллические включения вытягиваются, образуя волокна. Эти изменения в деформированном металле могут быть обнаружены визуально после травления, так как имеют макроскопические размеры (рис. 19).



*Рис. 19.* Фотографии макроструктуры кольца подшипника, изготовленного из трубной заготовки

Такой структуре присуща анизотропия механических свойств. При этом прочностные характеристики – временное сопротивление, предел текучести в различных направлениях изменяются меньше, чем пластические – относительное удлинение, ударная вязкость и даже износостойкость. Все перечислен-

ные характеристики в направлении вдоль волокон имеют большую величину, чем поперёк их.

Полученную анизотропию свойств целесообразно учитывать, проектируя нагруженные детали, получаемые пластическим деформированием. При разработке технологического процесса нужно учитывать направление волокон в исходной заготовке и выбирать такой метод её формоизменений, чтобы волокна приняли бы требуемое направление.

Следует учитывать, что последующая механическая обработка неизбежно связана с перерезанием волокон и нарушением их целостности. Качество деталей в связи с удалением наиболее качественного поверхностного слоя снижается. Поэтому следует применять способы деформирования, требующие минимальной механической обработки. Причём преимущественно она должна заключаться в удалении сердцевинной части поковок, например при сверлении и расточке центральных отверстий поковок.

### **Термическая обработка поковок**

Качество поковок и изготавливаемых из них деталей в значительной степени зависит от термической обработки. Целью термической обработки заготовок является улучшение обрабатываемости резанием; подготовка структуры для окончательной термической обработки, т. е. получение однородной мелкозернистой структуры; снятие внутренних напряжений; противоблоксная обработка; улучшение комплекса механических свойств.

Флокены – дефекты в виде серебристо-белых пятен ( $\varnothing$  от 2–3 до 40–50 мм). По своему составу они отличны от основного металла. Флокены образуются вследствие неодновременности превращения аустенита по сечению поковки, а также вследствие наличия водорода. Флокены иногда (когда ещё не произошло разрыва в них металла из-за давления выделяющегося водорода) можно исправить изотермическим отжигом.

Помимо изотермического отжига для термической обработки поковок используют нормализацию, отжиг, высокий отпуск, нормализацию + высокий отпуск. Нормализации подвергают поковки из углеродистых и легированных сталей (20, 30, 35, 40, 45, 20X, 40X), из которых изготавливаются вилки, крюки, фланцы, втулки, кронштейны, рычаги и др.

Нормализация поковок из более легированных сталей (12ХН3А, 25ХГНМ и др.) приводит к образованию бейнитной структуры, которая затрудняет обработку резанием. Для устранения этого недостатка поковки дополнительно подвергают высокому отпуску (600–700 °С). Изотермическому отжигу подвергают поковки, для которых особенно важна хорошая обрабатываемость резанием.

К ним относятся кованные заготовки зубчатых колёс, валов ответственного назначения, муфт, изготавливаемых из сталей 15ХФ, 15ХГН2ТА, 25ХГМ и т. п.

Поковки из сталей ШХ15, ШХ15СГ, ШХ20СГ подвергают отжигу на мелкозернистый перлит с целью улучшения обрабатываемости и подготовки структуры к окончательной термической обработке.

Твёрдость перед обработкой резанием сталей не должна превышать обычно НВ 269. В качестве термической обработки цветных сплавов применяют закалку и старение – для придания необходимых механических свойств и отжиг – для устранения неравновесных структур и деформационных дефектов строения.

### **Качество поковок**

Качество поковок определяет точность их размеров и геометрических форм; механические свойства; структура и отсутствие наружных и внутренних дефектов.

В производственных условиях причинами брака могут быть дефекты исходного материала и заготовки при нагреве, а также дефекты, вызванные отклонениями от установленного технологического процесса.

Возможные дефекты: трещины; вмятины от окалины; выгорание углерода на глубину, превышающую установленный припуск; внутренние разрывы металла (вследствие неправильного веденияковки); несоответствие макро- и микроструктуры; флокены.

Приёмку поковок послековки перед термообработкой проводят по наружному осмотру в ОТК. При контроле соблюдают принцип единства баз. Базой для измерения служит поверхность, которой заготовка фиксируется в приспособлении при обработке резанием.

При наличии наружных дефектов небольшой глубины их вырубают. Допускается оставлять незначительные дефекты без удаления, если их глубина не превышает 0,5 припуска на обработку.

В соответствии с ГОСТ 8479–70 поковки разделены на пять групп:

I группа – поковки без испытаний, поковки одной или разных марок сталей (условия комплектования партии);

II–III группы – поковки одной марки стали, испытания на твёрдость; причём для II группы предварительную термообработку выполняют одновременно для всей партии, а для III – термообработку для каждойковки по одинаковому режиму.

Сдаточными характеристиками для поковок II и III групп является твёрдость;

IV группа – испытания на растяжение, ударную вязкость, твёрдость для поковок одной плавки стали и при совместной термообработке;

V группа – испытания на растяжение, ударную вязкость, твёрдость. Принимается индивидуально каждая поковка.

Сдаточными характеристиками для поковок IV и V групп являются предел текучести, относительное сужение и ударная вязкость. Для каждой группы поковок за исключением группы I устанавливается объём обязательных испытаний (табл. 6).

Отнесение поковки к той или иной группе производит потребитель (по согласованию с конструктором изделия). Номер группы обязательно указывается на чертеже заготовки.

Таблица 6

**Виды испытаний для групп поковок**

Группа поковок	Вид испытания	Количество поковок от партии, подлежащих испытанию
I	Без испытаний	–
II	Определение твёрдости	5 % от партии, но не менее 5 шт.
III	Определение твёрдости	100 %
IV	1. Испытание на растяжение. 2. Определение ударной вязкости. 3. Определение твёрдости	До 100 шт. – 2 шт., св. 100 шт. – 1 %, но не менее 2 шт. (поковки с нижним и верхним пределами твёрдости)
		100 %
V	1. Испытание на растяжение. 2. Определение ударной вязкости. 3. Определение твёрдости	100 %

По требованию потребителя в чертеже поковки могут быть назначены вид, нормы и методы дополнительных испытаний при сдаче поковок (проверка на флокены, ультразвуковой контроль, величина остаточных напряжений, макро- и микроанализ структуры, определение величины зерна, ударной вязкости при рабочих и отрицательных температурах и т. д.).

По механическим свойствам поковки, поставляемые после окончательной термической обработки, разделяются на категории прочности. Для каждой категории прочности для поковок IV и V групп устанавливаются соответствующие ей нормы механических свойств, определяемые при испытании на продольных образцах.

Нормы твёрдости для поковок II и III групп и категории прочности для поковок IV и V групп назначаются по соглашению изготовителя с потребителем. Марка стали для всех групп выбирается по согласованию изготовителя и потребителя и указывается на чертеже детали и поковки.

### **Ковка: сущность процесса, область применения**

**Ковкой** называется процесс горячей обработки металлов давлением, при котором путём многократного и прерывистого действия инструмента исходной заготовке придают требуемые размеры и форму [3].

Инструмент является простым и универсальным, пригодным для изготовления целого ряда поковок. Универсальность инструмента позволяет получать поковки с малой себестоимостью.

При ковке пластическое течение металла в направлениях, не ограниченных поверхностями инструмента, происходит свободно, причём более интенсивно в направлении наименьшего сопротивления.

Для изготовления поковок массой до 700–1000 кг используют пневматические и паровоздушные молоты, а для более крупных – гидравлические прессы [2].

Участокковки, кроме основного оборудования, имеет средства механизации: манипуляторы, транспортные платформы и тележки, мостовые краны, поворотные столы и т. д.

Ковка экономически целесообразна при получении крупных поковок с высокими механическими свойствами в условиях мелкосерийного и единичного производства.

**Ковку без подкладных штампов** применяют для получения заготовок простой формы массой до 250 т. **Подкладные штампы** позволяют получить заготовку относительно сложной формы (рис. 20).

Фасонные поковки свыше 100 кг и простые массой более 750 кг предпочтительно изготавливать на гидропрессах. В табл. 7 представлены основные показатели качества поковок.

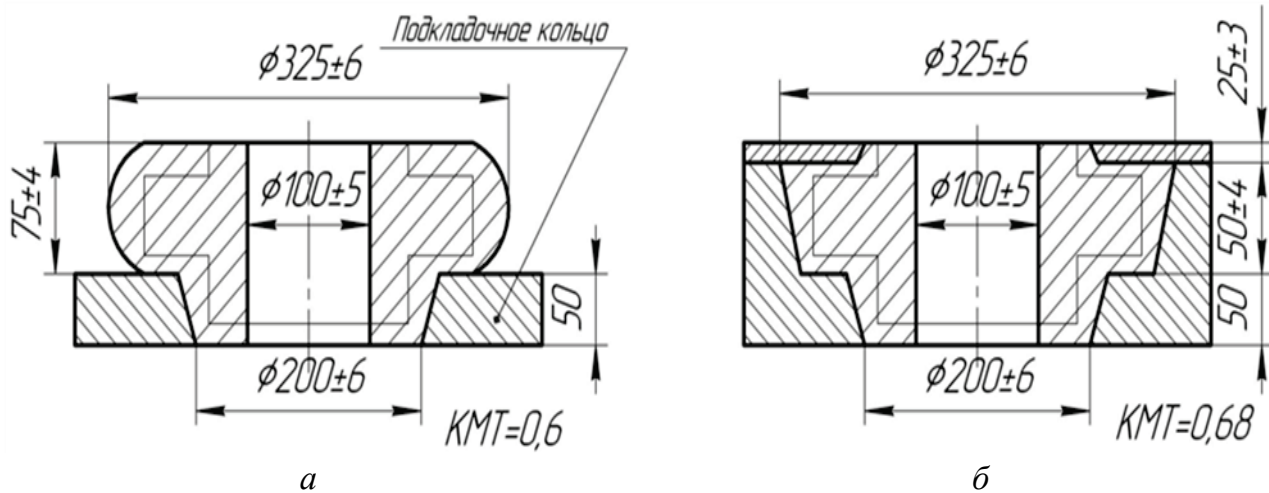


Рис. 20. Поковки, получаемые без подкладных штампов (а)  
и в подкладных штампах (б)

Таблица 7

**Основные показатели качества поковок и типы производств**

Способковки	Размер, масса	Допуск основного размера, мм	Параметр шероховатости Rz, мкм	Тип производства
На молотах и прессах	$\leq 250$ т	3,0–30,0	80–320	Единичное, мелкосерийное
На молотах в подкладных кольцах и штампах	$> 10$ кг	1,0–2,5	40–80	Мелкосерийное
На радиально-ковочных машинах: <i>холодная</i> <i>горячая</i>	$\varnothing 150$ мм (пруток, труба)	0,04–0,4 0,1–0,6	До 40	Серийное

*Преимуществаковки:*

- 1) возможность изготовления крупногабаритных поковок;
- 2) применение универсального оборудования, оснастки;
- 3) повышение пластичности и ударной вязкости металла.

*Недостатки ковки:*

- 1) малый КПД (для молотов паровоздушных – 2–3 %, молотов пневматических – 6–7; гидравлических прессов – 6–8 %);
- 2) низкая производительность и большая трудоемкость;
- 3) большой объем механической обработки.

Благодаря получению высокой пластичности материала прочности, ковка рекомендуется для заготовок высоконагруженных деталей: роторов гидротурбин, валов, дисков турбин, колес и др. Изготавливают также заготовки из титановых сплавов на прессах с усилием до 3000 т [2].

### **Вопросы для самопроверки**

1. Макроструктура, термическая обработка поковок.
2. Качество поковок.
3. Ковка: сущность процесса, область применения.

## **Лекция 11. ОСНОВНЫЕ ОПЕРАЦИИ КОВКИ.**

### **ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА КОВКИ**

#### **Основные операции ковки**

Предварительные операции: обкатка слитка, отрубка, разрубка.

Основные операции, обеспечивающие формоизменение: осадка, прошивка, протяжка, отрубка, раскатка, гибка и закручивание.

Отделочные операции: правка, клеймение.

**Осадка.** Осадкой называют операцию, при которой увеличивается поперечное сечение исходной заготовки за счёт уменьшения её высоты, для выравнивания торцов, повышения механических характеристик в тангенциальном и радиальном направлениях (рис. 21). Осадку заготовки выполняют на молотах или прессах плоскими бойками или подкладными плитами [3].

Предельная высота обсаживаемой заготовки не должна превышать:

$$h_0 < 2,5-3,0 d_0$$

Осадка улучшает механические свойства металла в поперечном направлении.



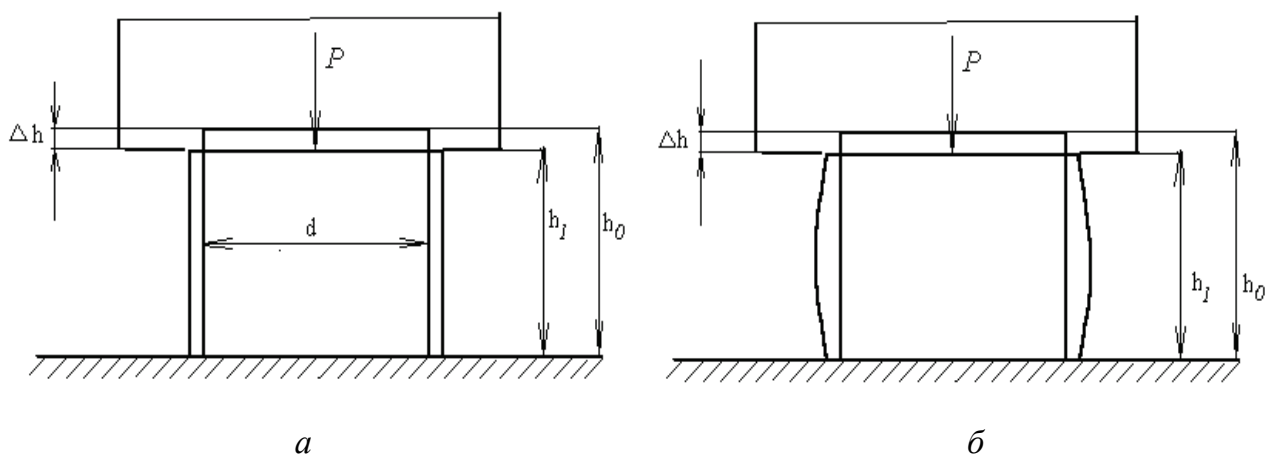


Рис. 21. Операция осадки цилиндрического образца:  
*a* – без трения на торцах (идеальный случай);  
*б* – при наличии трения на торцах (реальный случай)

Разновидность осадки – *высадка* (рис. 22), при которой осуществляют увеличение поперечного сечения заготовки на некоторой части по её длине [3].

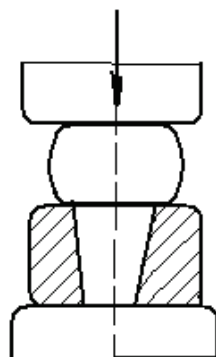


Рис. 22. Схема операции высадки

**Прошивка** – операция, при которой получают в поковке отверстие или углубление путём вытеснения материала (рис. 23). Прошивке обычно предшествует осадка исходной заготовки.

Инструмент: прошивни (сплошные и пустотелые), надставки, подкладные плиты и кольца.

Прошиваемую заготовку помещают на нижний боёк, прошивень устанавливают на торец заготовки и лёгкими ударами или нажатиями верхнего бойка вдавливают прошивень в заготовку.

Соотношение размеров прошиваемой заготовки должно быть  $H/D \gg 1$ . Диаметр прошиваемого отверстия при прошивке на молоте должен составлять не менее 40 мм (ГОСТ 7829–70) и не менее 75 мм – на прессе (ГОСТ 7062–79) [3].

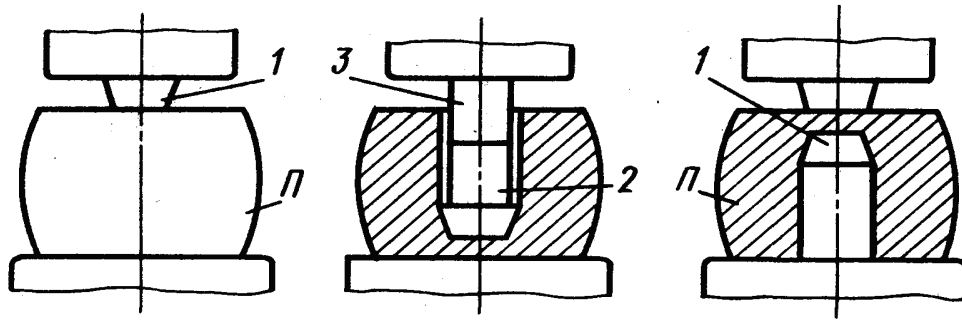


Рис. 23. Схема прошивки без подкладного кольца:  
 1 – первый прошивень; 2 – первая надставка;  
 3 – вторая надставка; П – прибыльная часть слитка

При прошивке значительно искажается форма заготовки. Для облегчения внедрения прошивня в заготовку применяется смазочный материал – графит с мазутом.

**Протяжка.** Протяжку применяют: для увеличения длины исходной заготовки за счет уменьшения поперечного сечения; для увеличения длины пустотелой заготовки в направлении оси путем уменьшения толщины ее стенки; для одновременного увеличения наружного и внутреннего диаметров заготовки – раскатка на оправке (рис. 24). Протяжку используют для получения поковок типа гладких и ступенчатых валов, коленчатых валов, фасонных поковок типа шатунов и др. [2].

Протяжка заключается в последовательных обжатиях заготовки поперёк её оси по отдельным смежным участкам с кантовкой вокруг оси и продольной подачей после каждого.

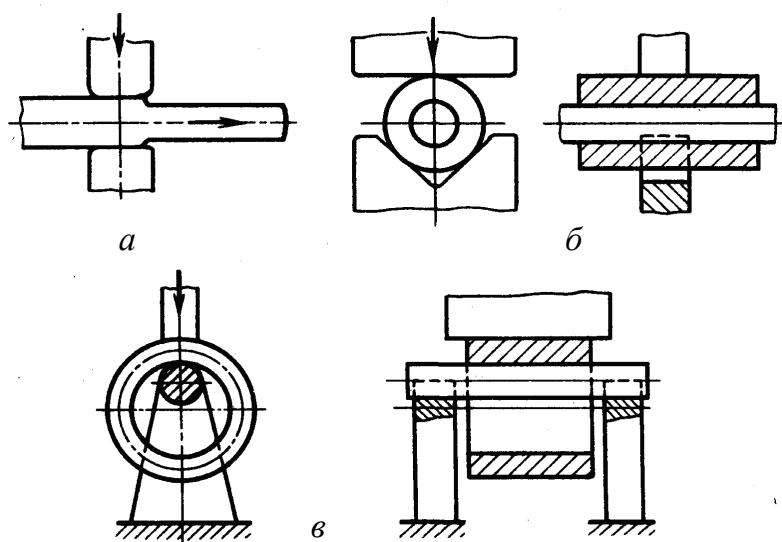


Рис. 24. Схемы протяжки:  
 а – на плоских бойках; б – на оправке; в – на оправке

Протяжка способствует устранению внутренних пустот, улучшает механические свойства металла в осевом направлении.

**Раскатка.** Раскаткой на оправке производят одновременное увеличение наружного и внутреннего диаметров полой заготовки за счёт уменьшения толщины её стенки. Незначительно увеличивается и её высота. С помощью операции раскатки изготавливают кольца, бандажки колёс и т. п. [2].

**Отрубка** служит для отделения отходов или готовых поковок от заготовки (рис. 25). Инструментами для отрубki являются топоры, квадраты и зубила.

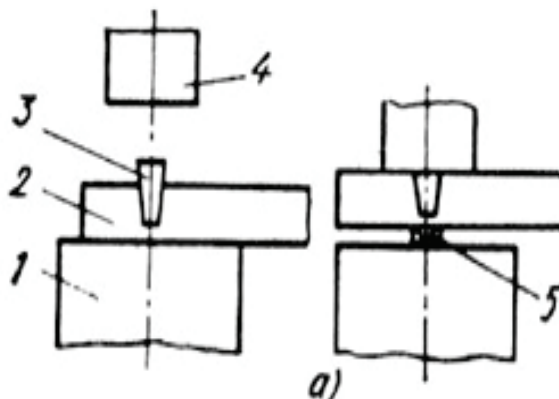


Рис. 25. Схема отрубki заготовки с одной стороны топором и квадратом:

1, 4 – нижний и верхний бойки; 2 – заготовка; 3 – топор; 5 – просечка

**Скручивание** проводится при повороте одного торца относительно другого, например, при изготовлении крупных спиральных свёрл, коленчатых валов.

**Гибка** – операция, при которой исходной заготовке придается изогнутая форма по заданному контуру. Процесс гибки сопровождается изменением формы поперечного сечения заготовки за счет растяжения (утяжки) наружных слоев металла и сжатия внутренних (рис. 26).

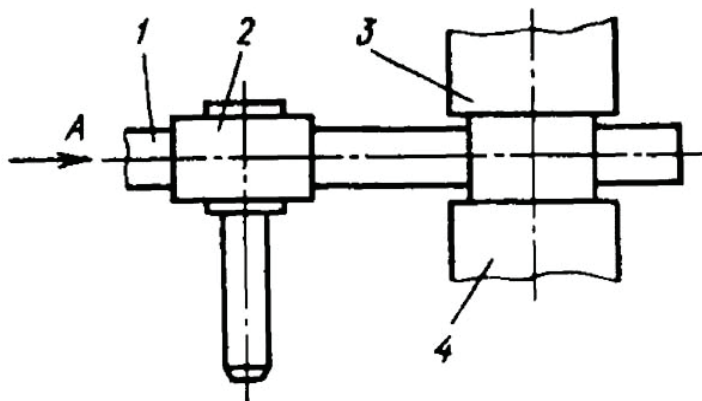


Рис. 26. Схемы гибки:

1 – упор; 2 – заготовка; 3, 4 – верхний, нижний бойки

Эта операция применяется как самостоятельная или в сочетании с другими операциями для получения деталей типа угольников, кронштейнов. Инструментом для гибки служат подкладные штампы, раскатки, оправки [3].

### **Разработка технологического процессаковки**

Разработка технологического процессаковки состоит из следующих этапов [7]:

- проектирование поковки;
- расчет размеров и массы исходной заготовки;
- назначение кузнечных переходов;
- выбор оборудования;
- определение режимов нагрева и охлаждения;
- назначение термообработки для готовой поковки.

**Проектирование поковки.** Чертеж поковки разрабатывают по чертежу детали. При разработке чертежа поковки надо учитывать некоторые особенности процесса, например, избегать наклонных поверхностей. Размеры поковки по сравнению с размерами готовой детали увеличивают на величину припуска. Для упрощения формы поковки по отдельным поверхностям, получение которых ковкой затруднено или невозможно, предусматривают местное увеличение размера, называемое напуском.

**Расчет размеров и массы исходной заготовки.** Массу исходной заготовки  $G_3$  при ковке из проката определяют по формуле

$$G_3 = G_n + G_o, \quad (12)$$

где  $G_n$  – масса поковки, кг;

$G_o$  – масса отходов на обсечки и угар, кг.

Массу поковки подсчитывают по формуле

$$G_n = V_n \cdot \rho, \quad (13)$$

где  $V_n$  – объем металла поковки, см<sup>3</sup>;

$\rho$  – плотность, равная для стали 7,85 г/см<sup>3</sup>.

**Назначение кузнечных переходов.** При разработке технологииковки необходимо стремиться к наименьшему числу переходов, к минимуму отходов металла и получению детали с высокими механическими свойствами.

**Выбор оборудования** дляковки проводится по требуемой массе падающих частей молотов или усилию прессы в зависимости от размеров заготовки и операцииковки.

Пользуясь каталогами и справочниками, по требуемой массе падающих частей молота можно определить оптимальную марку молота. Однако в практике ремонтных цехов предприятий лесного комплекса, где обычно установлено 1–2 молота, расчет сводится к определению возможностиковки заданной заготовки на имеющемся оборудовании.

**Термическая обработка** готовых поковок применяется для устранения в них крупнозернистой структуры, наклепа, внутренних напряжений и подготовки к механической обработке. Для поковок обычно применяют отжиг (нагрев с последующим медленным охлаждением в печи) или нормализацию (нагрев с последующим охлаждением на воздухе).

Установление последовательности операций и выбор основного инструмента определяется:

- 1) формой и размерами изготавливаемойковки;
- 2) видом и размерами принятой для неё исходной заготовки;
- 3) исходной и окончательной макроструктурой обрабатываемого металла;
- 4) требованиями, предъявляемыми к микроструктуре металла (в отдельных случаях);
- 5) другими техническими условиями на изготовление поковок.

### **Классификация поковок**

При выборе операций форму поковок характеризуют в основном четыре признака:

- 1) отношение длины к толщинековки  $l/h >$ ;
- 2) наличие или отсутствие полости;
- 3) наличие или отсутствие выемок или уступов;
- 4) прямолинейность или изогнутость главной оси.

По первому признаку выделяют три группы:

- 1) валы, оси, рычаги –  $l/h > 1$  – невозможно осуществить без изгиба осадку в торец;
- 2) цилиндры, брусы –  $l/h \sim 1$  – возможны осадка в торец и протяжка;
- 3) диски и пластины –  $l/h < 1$  – невозможно провести протяжку без искривления в плоскости, перпендикулярной главной оси.

С учётом 2 и 3-го признаков каждую их трех групп делят на виды. Всего по данной классификации имеется 16 видов. Каждому из видов соответствует

своей типовой технологический процессковки [3]. Рассмотрим примеры типовых технологических процессов на конкретных примерах.

### Пример типового процессаковки фланца

Фланцы (рис. 27), как правило, куят за один нагрев, реже с одним дополнительным подогревом на молотах. Толстостенные фланцы куят за три перехода [7].

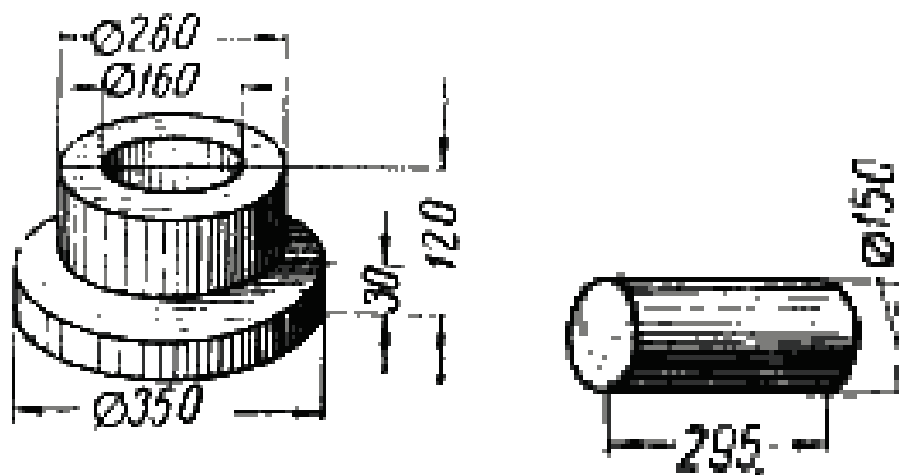


Рис. 27. Эскиз фланца и исходной заготовки

### Операцииковки

1. Подготовка заготовки с осадкой до высоты 160 мм и протяжкой на  $\varnothing 240$  мм (рис. 28). Осадку вначале технологического процесса часто проводят для уменьшения анизотропии механических свойств, улучшения механических свойств в поперечном направлении, размельчения карбидов, выравнивания торцов заготовки.

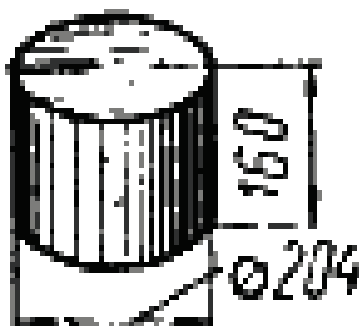


Рис. 28. Осадка заготовки

2. Предварительная прошивка со стороны фланца  $\varnothing 80$  мм и обкатка с прошивнем по диаметру (рис. 29). При  $D_{\text{прош}} / D > 0,4-0,5$  между прошивнем и боковой поверхностью образуется зазор и прошивень легко извлекается из заготовки. При  $D_{\text{прош}} / D < 0,4-0,5$  прошивень застревает в заготовке и его удаляют при последующей пробивке с помощью второго прошивня [7].

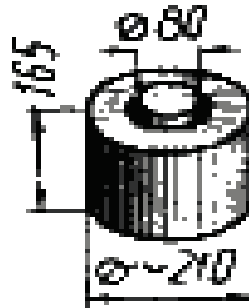


Рис. 29. Предварительная прошивка

3. Расширение отверстия прошивнями  $\varnothing 120$  и  $160$  мм до диаметра  $160$  мм с обкаткой по диаметру до высоты  $175$  мм (рис. 30).

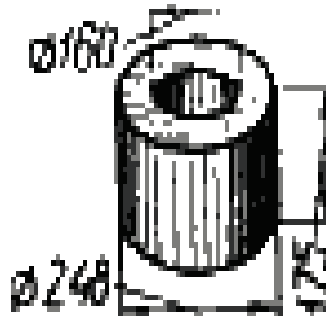


Рис. 30. Окончательная прошивка

4. Установка в кольцо оправки  $\varnothing 160$  мм и высотой  $117$  мм (рис. 31).

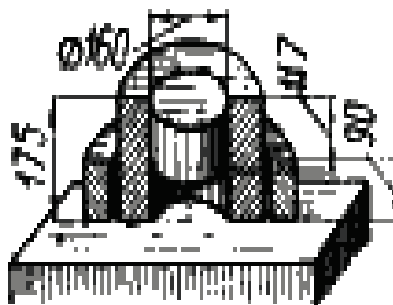


Рис. 31. Установка оправки

5. Осадка заготовки в кольце до высоты 120 мм. Обкатать по диаметру вместе с кольцом (рис. 32).

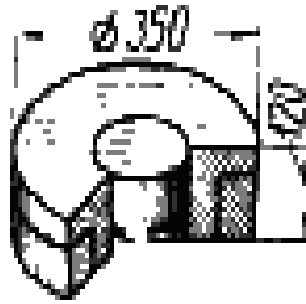


Рис. 32. Высадка заготовки

6. Выбивка оправки при помощи надставки (рис. 33).

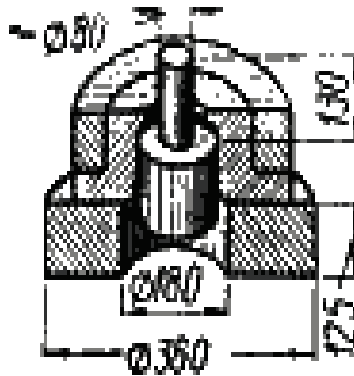


Рис. 33. Выбивка оправки

7. Вырубка заусенцев конусным прошивнем с острыми кромками диаметром 160 мм. Снятие кольца.

Разрешается не прошивать отверстия диаметром меньше 40 мм при  $h / D > 2,5$ ; допускается не выковывать ступицу  $> 310$  мм.

### Вопросы для самопроверки

1. Основные операцииковки.
2. Проектирование технологического процессаковки.
3. Пример типового технологического процессаковки.



## ЛЕКЦИЯ 12. ШТАМПОВКА НА МОЛОТЕ И ПРЕССЕ: СУЩНОСТЬ И ОСОБЕННОСТИ ПРОЦЕССОВ

**Молоты** являются универсальным оборудованием для горячей объемной штамповки преимущественно в открытых штампах. Их КПД 3 %.

**Основные типы молотов:** паровоздушный, механический, гидравлический, высокоскоростной и др. [3]. У паровоздушных молотов энергоносителем является пар или воздух для перемещения бабы молота. Паровоздушные молоты (рис. 34) приводятся в действие паром или сжатым воздухом давлением 0,7–0,9 МПа. Перемещение бабы 1 относительно направляющих 2 происходит при движении поршня 3 под действием сжатого пара или воздуха. При подаче пара (или воздуха) в верхнюю полость цилиндра 4 падающие части перемещаются вниз и наносят удар по заготовке, уложенной на нижний боек 5. При подаче пара (или сжатого воздуха) в нижнюю полость цилиндра падающие части поднимаются в верхнее положение [2].

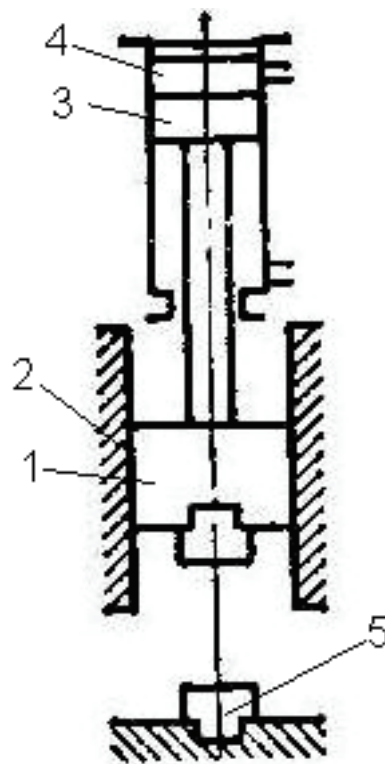


Рис. 34. Принципиальная схема паровоздушного молота

В механических молотах рабочее перемещение бабы молота осуществляется под действием ее силы тяжести, в отличие от гидравлических, где энергоносителем является жидкость высокого давления (до 18 МПа). Высокоскоростные молоты применяют для штамповки поковок из труднодеформируемых ма-

териалов (титановые сплавы), а также из цветных, черных металлов и сплавов. Скорость деформирования более 7 м/с. В качестве энергоносителя используется газ высокого давления, процесс деформирования происходит за доли секунды. Этот способ штамповки в сравнении с описанными на 30–40 % снижает расход металла и в 2–3 раза увеличивает КИМ. Точность поковок повышается [2].

**Для изготовления поковок используют штампы, состоящие из двух матриц.**

Верхнюю матрицу штампа (рис. 35) крепят к бабе молота, нижнюю – к штамподержателю, установленному на шаботе.

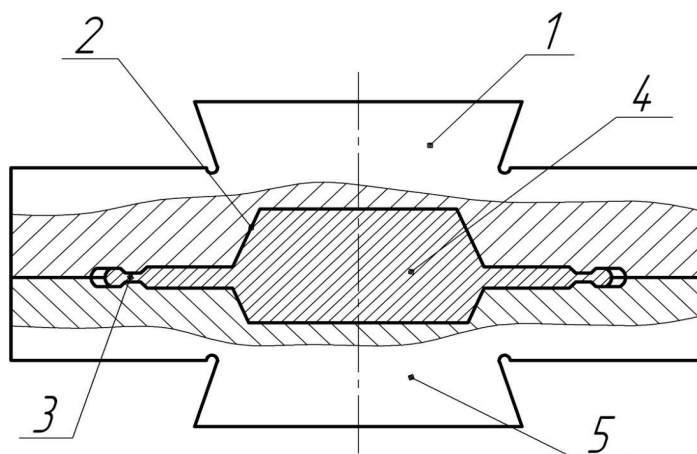


Рис. 35. Схема молотового открытого штампа:  
1 – верхняя матрица; 2 – стенка ручья (полости); 3 – облой;  
4 – поковка; 5 – нижняя матрица

Выбор молота производят, определив **массу падающих частей для штамповки в закрытых штампах:**

$$G_{п.ч} = (3,5 - 5)F_{п}, \quad (14)$$

где  $F_{п}$  – площадь проекции поковки в плане, см<sup>2</sup>.

Штамповка на молоте в каждом ручье штампа осуществляется не за один, а за несколько ударов. На молоте металл заготовки легче заполняет полости ручьев верхней половины штампа, чем нижней. Это объясняется тем, что металл заготовки находится в контакте с верхней половиной штампа весьма короткое время и меньше охлаждается. В связи с этим более высокие части, например ребра поковки, располагают в верхней половине штампа.

Плоскость разъема штампов выбирают так, чтобы ручьи имели наименьшую глубину и наибольшую ширину, что способствует лучшему заполнению ручьев штампа металлом и уменьшает их износ. Поскольку молотовые штампы

не имеют выталкивателей, для более легкого извлечения поковки в ручье штампа делают достаточно большие штамповочные уклоны – внешние не более  $7^\circ$  и внутренние  $10^\circ$ . Разница в их величине объясняется тем, что внешние поверхности поковки при охлаждении легко отходят от стенок ручья, а внутренние охватывают его выступы.

Вследствие ударного характера приложения нагрузки при штамповке на молоте в штампах не делают направляющих колонок из-за опасности их поломки и травмирования людей. При штамповке на молоте за несколько ударов окалина легко удаляется из штампа струей сжатого воздуха и последний удар наносится по заготовке, практически не имеющей окалины. В связи с этим используют пламенный нагрев заготовок как более экономичный по сравнению с другими видами нагрева.

Штамповка на молотах осуществляется как в открытых, так и закрытых штампах. Штамповку простых по форме поковок выполняют в одноручьевых штампах, сложных – в многоручьевых. Поковки типа шестерен, крестовин и т. п. изготавливают осадкой заготовки в торец с последующей штамповкой в чистовом ручье; поковки типа шатунов, рычагов и т. п. – с предварительной протяжкой, подкаткой, гибкой и последующей штамповкой в черновом и чистовом ручьях. Такие поковки в зависимости от массы получают из штучных заготовок, рассчитанных на изготовление одной или двух поковок. Мелкие поковки штампуют от прутка.

Основными достоинствами горячей объёмной штамповки (ГОШ) являются:

- 1) высокая производительность – до сотен поковок в час;
- 2) меньшие припуски и допуски, чем при ковке. Это приводит к упрощению механической обработки и снижению её трудоёмкости. У деталей, полученных ГОШ, часто обрабатываются только сопрягаемые поверхности. Средняя точность штамповок – IT 15–16;
- 3) квалификация штамповщика может быть существенно меньшей, чем кузнеца.

Производительность штамповочных молотов в десятки раз больше производительности ковочных молотов. Стоимость ковочных и штамповочных молотов одинаковой мощности примерно одинакова.

Вместе с тем следует знать, что для ГОШ требуются гораздо большие усилия, чем при ковке однотипных деталей. Это связано с тем, что при штамповке течение металла затруднено трением о стенки ручья и тем, что деформации подвергаются одновременно большие объёмы заготовки. Поэтому масса штам-

пованных поковок ограничивается мощностью оборудования и не превышает обычно 100–200 кг. Процесс штамповки выполняется в зависимости от вида поковки, материала и характера производства на различного вида установках. Молоты являются более универсальным и дешевым оборудованием по сравнению с прессами, поэтому на них осуществляют штамповку при более низкой серийности штампуемых поковок.

### **Штамповка на прессе: сущность и особенности процесса**

Кривошипный горяче-штамповочный пресс (КГШП) применяют в серийном и массовом производствах. Ориентировочно пресс выбирают по массе поковки в зависимости от усилия штамповки.

В сравнении с молотами штамповка на прессе имеет *преимущества*:

- прессы позволяют снизить вес заготовки дополнительно на 12–15 % против штамповки на молоте;
- более высокий КПД 6–8 %;
- производительность до двух раз выше, так как деформация на прессе в каждом ручье происходит за один ход, а на молоте – за несколько ударов;
- более высокий КИМ;
- более высокая точность размеров поковки;
- возможны механизация и автоматизация перекладки заготовок из ручья в ручей;
- бесшумная работа прессы, отсутствие вибраций;
- нет необходимости в рабочих высокой квалификации [3].

*Недостатки* КГШП в сравнении с молотами:

- в 3–4 раза выше стоимость оборудования;
- возможность заклинивания и поломки прессов при крайнем нижнем положении ползуна;
- более сложные конструкции штампов;
- перед штамповкой заготовки требуется очистка от окалины либо применение видов нагрева, не создающих окалину;
- образование более значительного заусенца, частичное незаполнение ручья штампа [3].

Упрощенная схема КГШП представлена на рис. 36.

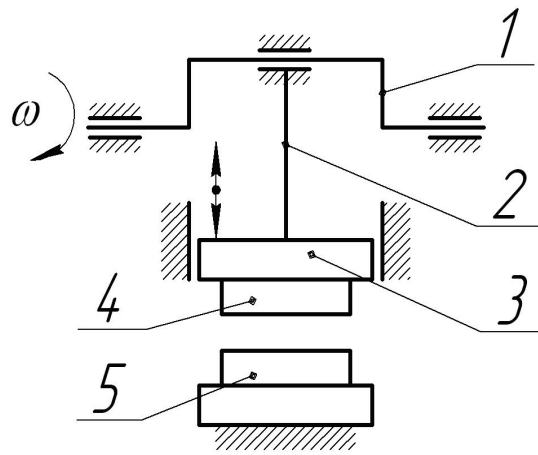


Рис. 36. Упрощенная схема механизма КГШП

При вращении кривошипа 1 шатун 2 совершает возвратно-поступательное перемещение с ползуном 3 и матрицей 4, нанося удар по заготовке, расположенной в нижней матрице штампа. Плоскости разъема штампа не смыкаются, в отличие от молотового штампа.

Поковки, штампуемые на КГШП, подразделяют в зависимости:

- от характера формоизменения и течения металла – **на два класса**: класс поковок с преобладанием процесса осадки и класс поковок, получаемых с преобладанием выдавливания;
- конфигурации (**пять групп**). Это шестерни, фланцы, распредвалы, ступенчатые валы, рычаги, крестовины, кулаки, стаканы [3]. На рис. 37 представлены отдельные схемы фасонирования заготовок.

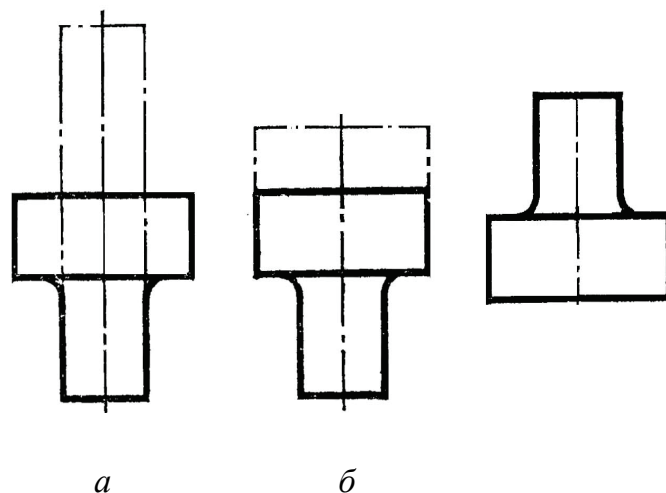


Рис. 37. Варианты штамповки фланцевой втулки:  
а – высадкой; б – выдавливанием

Кривошипные штамповочные прессы усилием 6,3–100 МН успешно заменяют штамповочные молоты с массой падающих частей 630–10 000 кг. Однако

стоимость кривошипного горячештамповочного прессы в 3–4 раза выше стоимости эквивалентного по технологическим возможностям молота.

**На гидропрессах штампуют** крупные поковки, которые невозможно получить на другом кузнечном оборудовании, а также поковки, для которых необходим большой рабочий ход силовых органов. Действие прессы основано на использовании закона Паскаля (давление, производимое на жидкость внешними силами, передается ею по всем направлениям одинаково). Усилие современных гидравлических штамповочных прессов достигает 750 МН. Гидравлический пресс значительно дороже, тихходнее и менее производителен, чем штамповочный молот с эквивалентной массой падающих частей.

Область применения – поковки из черных и цветных металлов в тех случаях, когда не может быть использован молот: при штамповке крупных поковок с площадью проекции до 2,5 м<sup>2</sup> или массой свыше 350 кг.

Гидравлические прессы используют также для штамповки металлов и сплавов с небольшой температурой начала штамповки (алюминиевые и магниевые сплавы) и для штамповки крупных поковок, которые нельзя получить на другом оборудовании из-за недостатка мощности.

Гидравлические штамповочные прессы изготавливают с номинальными усилиями свыше 50 и до 750 МН для штамповки крупных поковок; усилиями 4–5 МН и выше – главным образом для штамповки малопластичных сплавов [3].

**Винтовые фрикционные прессы** изготавливают с номинальным усилием 0,4–1,6 МН. Скорость ползуна винтовых прессов (фрикционных, дугостаторных, гидравлических) в момент удара 1–3 м/с, что более предпочтительно в сравнении с паровоздушными молотами и гидропрессами. Это обусловило их применение для штамповки поковок из труднодеформируемых и малопластичных сталей и сплавов. Эти прессы применяют для одноручевой торцевой штамповки в открытых и закрытых штампах, а также для гибки, правки и некоторых других операций. Наличие большого хода у этих прессов (200–710 мм) позволяет штамповать высокие поковки. Фрикционные прессы весьма удобны в мелкосерийном производстве. При изготовлении мелких поковок они способны заменить штамповочные молоты, кривошипные прессы и даже горизонтально-ковочные машины [3].

### **Вопросы для самопроверки**

1. Штамповка на молоте: сущность процесса.
2. Преимущества и недостатки штамповки на молоте.
3. Штамповка на прессе: сущность и особенности процесса.

## ЛЕКЦИЯ 13. ШТАМПОВКА НА ГОРИЗОНТАЛЬНО-КОВОЧНЫХ МАШИНАХ: СУЩНОСТЬ И ОСОБЕННОСТИ ПРОЦЕССА. ВИДЫ ШТАМПОВ И ШТАМПОВОЧНЫХ РУЧЬЕВ

### Штамповка на горизонтально-ковочных машинах: сущность и особенности процесса

Горизонтально-ковочные машины (ГКМ) представляют собой горизонтальные кривошипные горячештамповочные прессы с усилиями 6,3–125 МН.

Поковки, изготавливаемые на ГКМ, обычно имеют форму тел вращения с прямой осью, направленной по оси исходного прутка. По форме поковки могут быть отнесены к двум основным группам: типа стержня сплошного сечения с одним или несколькими утолщениями и стержня со сквозным отверстием.

В сравнении с рассмотренными моделями кузнечных машин штамповка поволоков на ГКМ более производительна, так как является полуавтоматической. Возможно изготовление стержневых заготовок, осей, шкивов, втулок (I–V групп) [3].

Горизонтально-ковочные машины (ГКМ) имеют штампы, состоящие из трех частей (рис. 38): неподвижной матрицы 3, подвижной матрицы 5 и пуансона 1, размыкающихся в двух взаимно перпендикулярных плоскостях. Пруток 4 с нагретым участком, обращенным к пуансону, закладывают в неподвижную матрицу 3. Положение прутка определяется упором 2. При включении ГКМ подвижная матрица 5 прижимает пруток к неподвижной матрице, упор 2 отводится в сторону, а пуансон 1 ударяет по выступающей части прутка, деформируя ее [2].

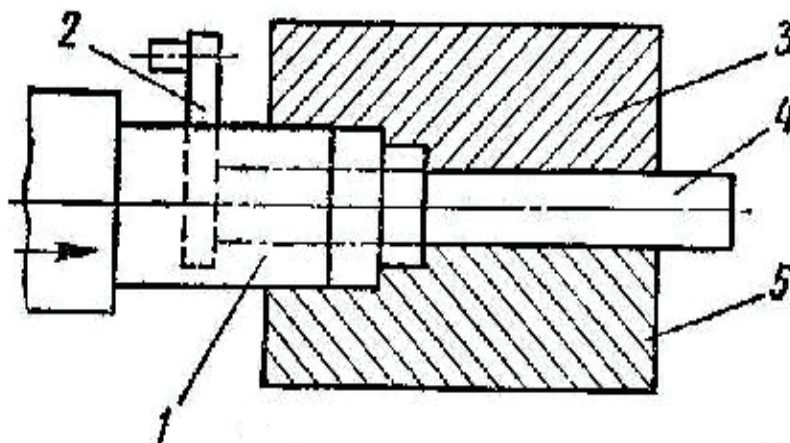


Рис. 38. Схема штамповки ступенчатого вала с фланцем на ГКМ

На ГКМ заготовки штампуют обычно в нескольких ручьях штампа, расположенных вертикально по высоте блоков. Высадочный штамп имеет два-три

ручья и в исключительных случаях четыре-пять в зависимости от длины деформируемой части прутка и сложности конфигурации поковки. Возможна закрытая прошивка отверстия в заготовке.

Ручьи штампов горизонтально-ковочных машин подразделяют на *подготовительные* и *окончательные*. Форма окончательных ручьев обуславливается формой поковки, заданной чертежом. При продольной штамповке на ГКМ предварительные операции заключаются в осадке и формовке заготовки главным образом для придания ей устойчивости при обработке в последующих ручьях.

*Формовочные, окончательные ручьи.* Чем сложнее конфигурация поковки, тем больше операций нужно для ее формовки. Формуют в матрице (рис. 39, а), пуансоне (рис. 39, б) или частично в матрице и пуансоне (рис. 39, в).

Положение главной плоскости разъема на рис. 39 обозначено линией *I-I*, а дополнительной плоскости разъема, проходящей через матрицу, линией *II-II*. Формовка в разъемной матрице (рис. 39, а) позволяет штамповать без уклонов. Но получаемая при этом точность меньше, чем при штамповке в пуансоне (рис. 39, б), так как смещение частей матрицы относительно друг друга приводит к искажению формы поковки [3].

Формовка в пуансоне обеспечивает полное соответствие формы поковки, но при этом необходимы штамповочные уклоны ( $1-2^\circ$ ), приводящие к напускам металла.

Поковки, изготавливаемые на ГКМ, по припускам и допускам ближе к молотовым поковкам, чем к поковкам, изготавливаемым на КГШП. Производительность этих машин примерно одинакова.

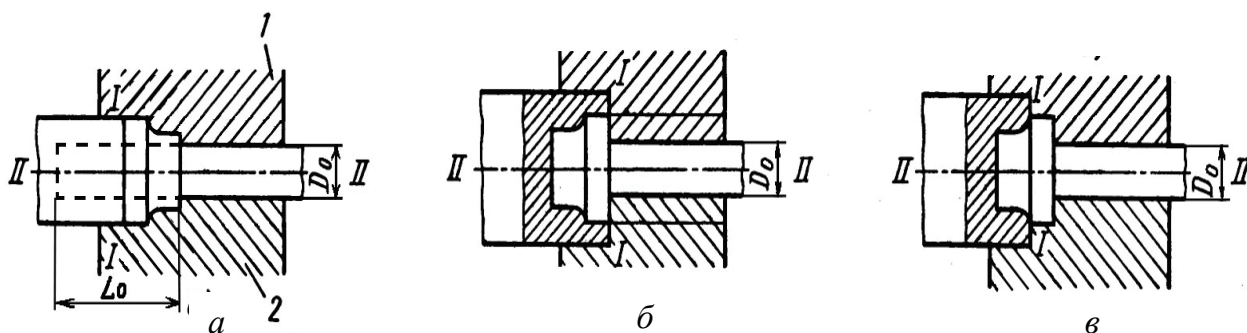


Рис. 39. Схемы расположения поковки в штампах (горизонтальный разрез штампов вид сверху):

*I* – неподвижная часть матрицы; *2* – подвижная часть матрицы



Недостатками ГKM являются: ограниченные номенклатура и масса (до 150 кг) штампуемых поковок; необходимость применения в качестве исходного материала проката повышенной точности; при колебаниях объема исходной заготовки из-за допуска на размеры сечения проката обычной точности штамповка в закрытых и открытых ручьях является невозможной или практически нерациональной.

### Виды штампов и штамповочных ручьев

По наличию или отсутствию заусенца различают штампы открытые и закрытые (рис. 40).

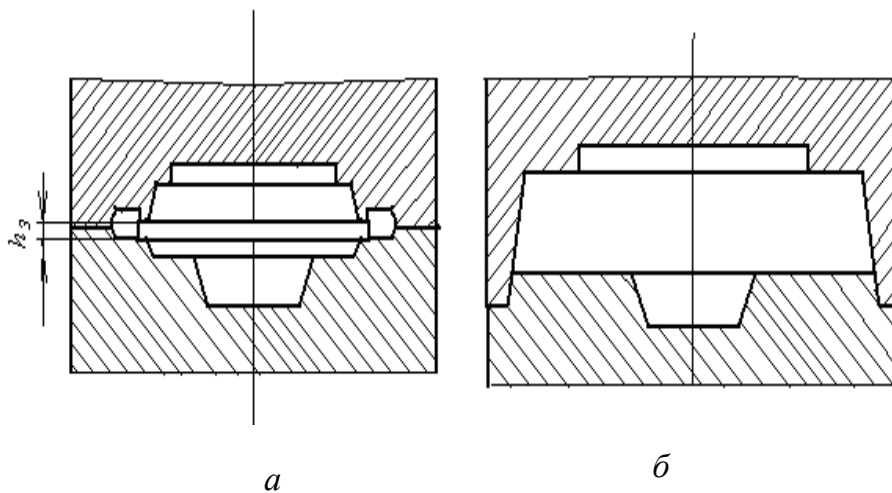


Рис. 40. Схема штамповки в открытых (а) и закрытых (б) штампах

Штамповка в открытых штампах характеризуется переменным зазором между подвижной и неподвижной частями штампа. В зазор вытекает заусенец (облой). По мере уменьшения зазора металл, находящийся в этом зазоре между частями штампа, интенсивно охлаждается, увеличивается предел текучести металла и возрастает сопротивление перемещению заусенца. Благодаря этому заполняется вся полость штампа и только излишки металла вытесняются в заусенец. Заусенец впоследствии обрезается в специальных (обрезных) штампах [2].

Штамповка в закрытых штампах отличается от штамповки в открытых штампах тем, что деформация заготовки осуществляется в закрытой полости штампа. Весь объем металла, находящегося в полости штампа, идет на формообразование поковки и её формирование протекает без вытекания металла в заусенец. Зазор между подвижной и неподвижной частями штампа в процессе

деформирования постоянный и очень небольшой. Он служит только для создания подвижности одной части штампа относительно другой. Через него металл при нетехнологичной конструкции и избыточной массе исходной заготовки может вытекать в торцевой заусенец, который вызывает повышенный износ штампа, необходимость операций по удалению заусенца (преимущественно ручных) [2].

Объёмная штамповка в закрытых штампах является прогрессивным технологическим методом. Перед штамповкой в открытых штампах она имеет следующие *преимущества*: 1) из-за отсутствия заусенца экономится металл, ликвидируется потребность в прессах и штампах для обрезки заусенца, снижается трудоёмкость и сокращается цикл штамповки; 2) благоприятная схема всестороннего сжатия способствует лучшему проявлению пластических свойств металла, что позволяет штамповать малопластичные сплавы и получать более высокие степени деформации; 3) КИМ повышается до 75–80 %; 4) поковки имеют более высокое качество за счёт рационального распределения волокон металла (макроструктуры), плавно обтекающих контур поковок.

*Недостатки* штамповки в закрытых штампах: 1) требуется более тщательная отработка конструкции поковки на технологичность; 2) более точный расчёт массы исходной заготовки; 3) срок службы закрытых штампов меньше, чем открытых – они часто выходят из строя из-за поломок, а не из-за износа, как открытые штампы.

### **Вопросы для самопроверки**

1. Штамповка на ГКМ: сущность процесса.
2. Преимущества и недостатки штамповки на ГКМ.
3. Виды штампов и штамповочных ручьев.

### **Лекция 14. ВЫБОР ПОЛОЖЕНИЯ ПОВЕРХНОСТИ РАЗЪЕМА ШТАМПА.**

#### **ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ШТАМПОВКИ**

#### **Выбор положения поверхности разъема штампа**

При штамповке поковок в открытых штампах поверхность, которая делит поковку на две части, одна из которых штампуется в верхней половине штампа, а другая в нижней, называется поверхностью разъема штампа. В общем случае разъем штампа может представлять собой сложную поверхность, состоящую из плоскостей и криволинейных поверхностей (рис. 41).

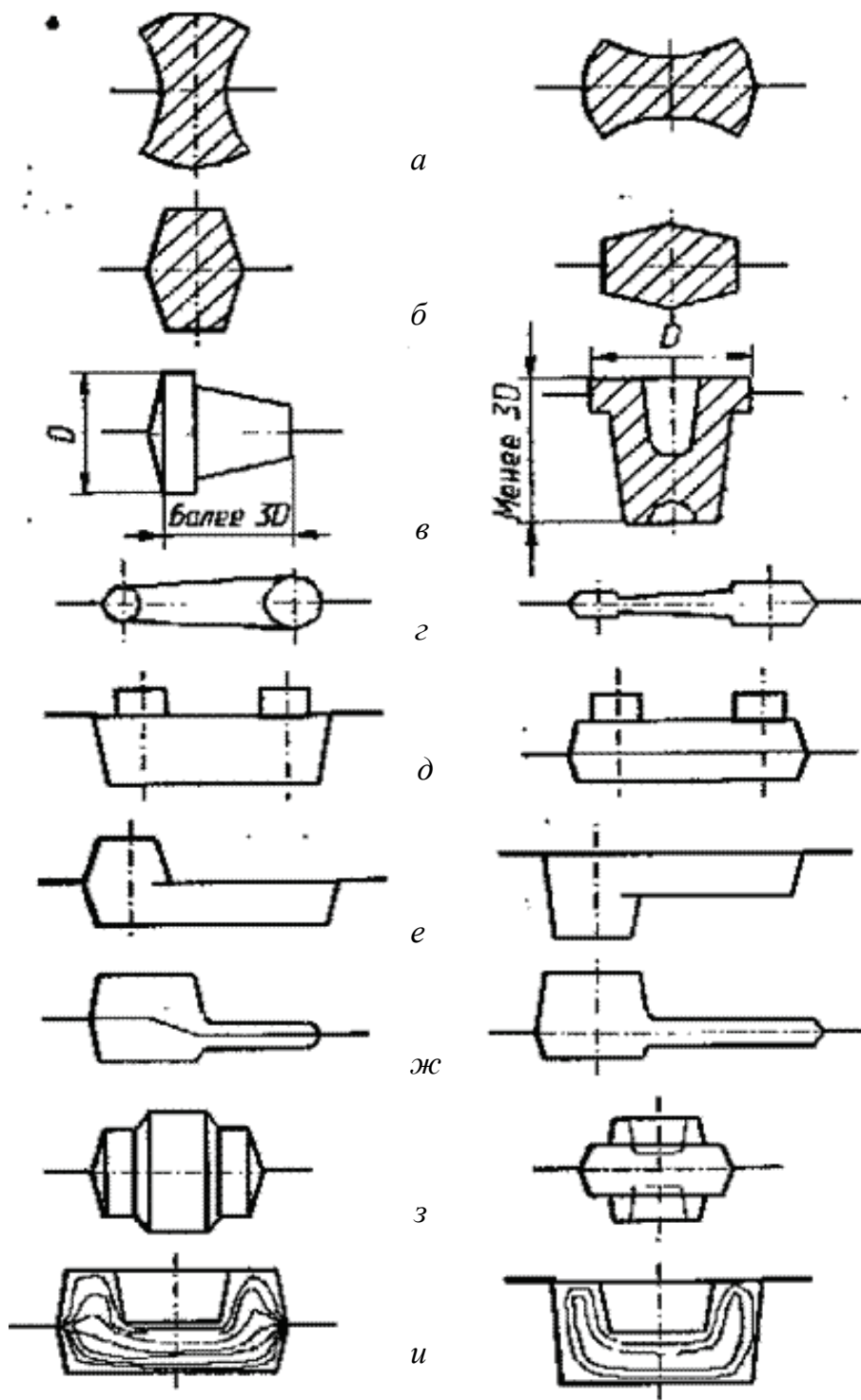


Рис. 41. Положение поверхности разъёма

Основные правила, которыми надо руководствоваться при выборе поверхности (плоскости) разъёма, следующие [6]:

1) поверхность разъёма должна гарантировать удаление поковки из верхней и нижней частей штампа (рис. 41, а), обеспечивать наименьшую глубину и наибольшую ширину ручья, исключение составляют поковки круглые в плане, у которых длина меньше трех наружных диаметров: такие поковки удобнее

и проще штамповать осадкой в торец; при длине детали больше трех диаметров их целесообразно штамповать плашмя (рис. 41, б–г);

2) поверхность разъема должна обеспечить контроль за смещением половины штампа, для чего ее необходимо располагать посередине боковой поверхности наибольшего периметра поковки (рис. 41, д); при штамповке удлиненной поковки простой формы и небольшой ее толщине целесообразно все части поковки располагать в нижней половине штампа и поверхность разъема выбирать по плоской части поковки; в этом случае смещение штампа не влияет на точность поковки (рис. 41, е);

3) поверхность разъема по возможности должна быть плоской во избежание сдвига штампа и коробления поковок при обрезке облоя. Для предотвращения сдвига в штампах делают замки или переходят на одновременную штамповку двух поковок, уравнивающих одна другую (рис. 41, ж);

4) поверхность разъема выбирают такой, чтобы механическая обработка ручьев штампа была простой и дешевой и чтобы удобно было укладывать и фиксировать поковку в обрезной матрице (рис. 41, з);

5) при выборе поверхности разъема руководствуются целесообразностью выполнения полости ручья штампа осадкой, а не выдавливанием (рис. 41, б, з);

6) поверхность разъема должна обеспечить благоприятное расположение волокон и не допускать разрывов и перерезывания их при последующей механической обработке (рис. 41, и).

## **Проектирование технологического процесса штамповки**

**Технологически процесс (ТП) горячей штамповки** – совокупность действий рабочего, непосредственно связанных с изменением формы и размеров исходной заготовки от момента поступления металла в обработку и до получения готовой поковки [3].

Технологический процесс горячей штамповки осуществляется в следующей последовательности:

- выбор способа штамповки;
- разработка чертежа поковки;
- определение переходов штамповки;
- определение формы и размеров заготовки;
- выбор кузнечно-штамповочного оборудования по мощности;
- конструирование штампов;
- выбор температурного интервала и способа нагрева;

- определение вида завершающих и отделочных операций;
- расчет технико-экономических показателей разработанного ТП.

Технологический процесс изготовления поковки включает следующие операции: отрезка проката на мерные заготовки, нагрев, штамповка, обрезка облоя и пробивка пленок, правка, термическая обработка, очистка поковок от окалины, калибровка, контроль готовых поковок [4].

Перед штамповкой заготовки должны быть нагреты равномерно по всему объему до заданной температуры. При нагреве должны быть минимальными окалинообразование (окисление) и обезуглероживание поверхности заготовки. Используются электроконтактные установки, в которых заготовка, зажата медными контактами, нагревается при пропускании по ней тока; индукционные установки, в которых заготовка нагревается вихревыми токами; газовые печи с безокислительным нагревом заготовок в защитной атмосфере.

Штамповку осуществляют в открытых и закрытых штампах. В открытых штампах получают поковки удлиненной и осесимметричной формы. В закрытых штампах – преимущественно осесимметричные поковки, в том числе из малопластичных материалов. Поковки простой формы штампуют в штампах с одной полостью. Сложные поковки с резкими изменениями сечений по длине, с изогнутой осью и т. п. штампуют в многоручьевых штампах [5].

После штамповки в открытых штампах производят обрезание облоя и пробивку пленок в специальных штампах, устанавливаемых на кривошипных прессах (рис. 42).

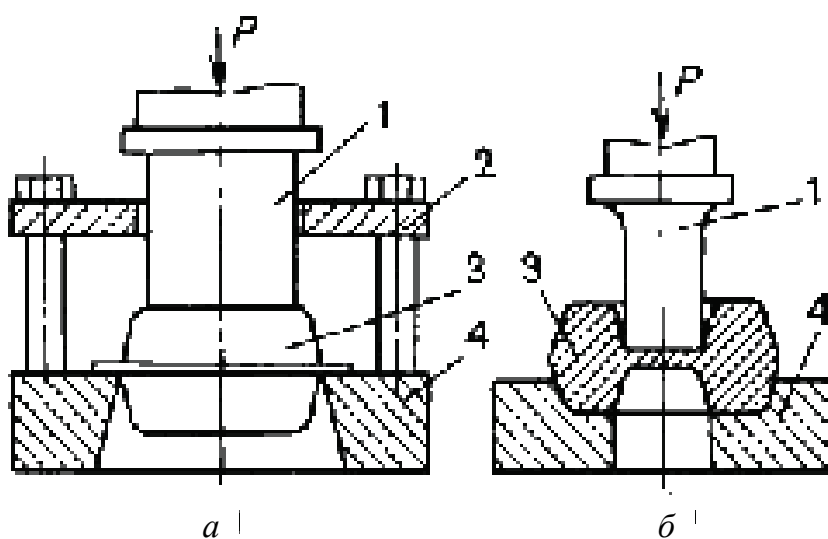


Рис. 42. Схемы обрезания облоя (а)  
и пробивки пленок (б)

Правку штампованных поковок выполняют для устранения искривления осей и искажения поперечных сечений, возникающих при затрудненном извлечении поковок из штампа, после обрезания облоя и термической обработки. Крупные поковки и поковки из высокоуглеродистых и высоколегированных сталей правят в горячем состоянии либо в чистовом ручье штампа сразу после обрезания облоя, либо на обрезном прессе (обрезной штамп совмещается с правочным штампом), либо на отдельной машине. Мелкие поковки правят на винтовых прессах в холодном состоянии после термической обработки.

Термическую обработку применяют для получения требуемых механических свойств поковок и облегчения их обработки резанием. Отжиг снимает в поковках из высокоуглеродистых и легированных сталей остаточные напряжения, измельчает зерно, снижает твердость, повышает пластичность и вязкость. Нормализацию применяют для устранения крупнозернистой структуры в поковках из сталей с содержанием углерода до 0,4 %.

Очистку поковок от окалины производят для облегчения контроля поверхности поковок, уменьшения износа металлорежущего инструмента и правильной установки заготовки на металлорежущих станках. На дробеструйных установках окалину с поковок, перемещающихся по ленте конвейера, сбивают потоком быстро летящей дроби диаметром 1–2 мм. В галтовочных барабанах окалина удаляется благодаря ударам поковок друг о друга и о металлические звездочки, закладываемые во вращающийся барабан [3].

Калибровка поковок повышает точность размеров всей поковки или отдельных ее участков. В результате этого последующая механическая обработка устраняется полностью или ограничивается только шлифованием. Различают плоскостную и объемную калибровку. Плоскостная калибровка служит для получения точных вертикальных размеров на одном или нескольких участках поковки. Объемной калибровкой повышают точность размеров поковки в разных направлениях и улучшают качество ее поверхности. Калибруют в штампах с ручьями, соответствующими конфигурации поковки [3].

### **Вопросы для самопроверки**

1. Выбор положения поверхности разъема штампа.
2. Порядок проектирования технологического процесса штамповки.
3. Операции технологического процесса изготовления поковки.

## **РАЗДЕЛ 4. ПОЛУЧЕНИЕ ЗАГОТОВОК МЕТОДАМИ ПОРОШКОВОЙ МЕТАЛЛУРГИИ И ИЗ ПЛАСТМАСС**

### **Лекция 15. Порошковая металлургия: сущность процесса, технические возможности, область применения.**

#### **Получение заготовок из пластмасс: сущность процесса**

#### **Технология получения заготовок методами порошковой металлургии: достоинства и недостатки метода, область применения в машиностроении**

Метод получения различных материалов и деталей из металлических порошков путём их прессования и последующего спекания, минуя стадию плавления металла, называется порошковой металлургией. Изделия, полученные порошковой металлургией, обладают особыми свойствами – пористостью, высокой твёрдостью, тугоплавкостью и т. д. Метод даёт возможность получать совершенно готовые изделия либо детали с незначительными технологическими припусками. В настоящее время металлокерамические изделия широко применяются в виде антифрикционных (подшипники скольжения), фрикционных (узлы сцепления в самолётостроении и автомобилестроении) и конструкционных деталей, а также в виде фильтров, магнитов, электроконтактов и др. Потери металла при изготовлении этих деталей методами порошковой металлургии составляют 3–7 %. Технологический маршрут изготовления заготовки методом порошковой металлургии состоит из следующих операций: 1) приготовление порошковой шихты (предварительный отжиг, рассеивание, смешивание порошков); 2) прессование – формование заготовки; 3) спекание; 4) контроль качества. Порошки получают двумя способами: механическим – измельчением стружки и др., физико-химическим – восстановлением окислов и др. Второй способ более экономичен и универсален [6].

Для повышения механических свойств деталей, а также для придания им некоторых специальных свойств дополнительно могут применяться: допрессовка с повторным спеканием; калибровка; пропитка более легкоплавкими металлами, пластмассами и маслом; механическая, термическая, химико-термическая обработка, ковка, прокатка, штамповка при повышенных температурах.

Под формованием (прессованием) металлических порошков и их смесей понимается операция, в результате которой под действием приложенных сил из бесформенного сыпучего порошка получают относительно прочные заготовки с учётом допусков на усадку при спекании, а также прокаткой свободно насыпанного порошка и порошка, заключённого в эластичные оболочки. Спекание может производиться при прессовании.

На практике широкое применение находит метод холодного прессования в закрытых пресс-формах [6]. Он является наиболее простым, легко поддаётся автоматизации и позволяет получить изделия различных форм и размеров. Существует два метода прессования: одностороннее и двустороннее (рис. 43). Недостатком одностороннего прессования является неравномерность плотности и твёрдости по объёму изделия. В связи с этим одностороннее прессование в основном применяется для изготовления деталей простой конфигурации (втулки, цилиндры и т. д.) и малой высоты. Для изготовления изделий с равномерной плотностью применяют двустороннее прессование, которое может осуществляться приложением давления прессования к верхнему и нижнему пуансонам. При прессовании в закрытых пресс-формах могут быть использованы как механические, так и гидравлические прессы специального назначения, а также прессы, применяемые для прессования пластмасс, оснащенные специальными приспособлениями. Помимо этих методов в настоящее время разработан ряд других: прокатка металлических порошков, прессование взрывом, вибропрессование и т. п.

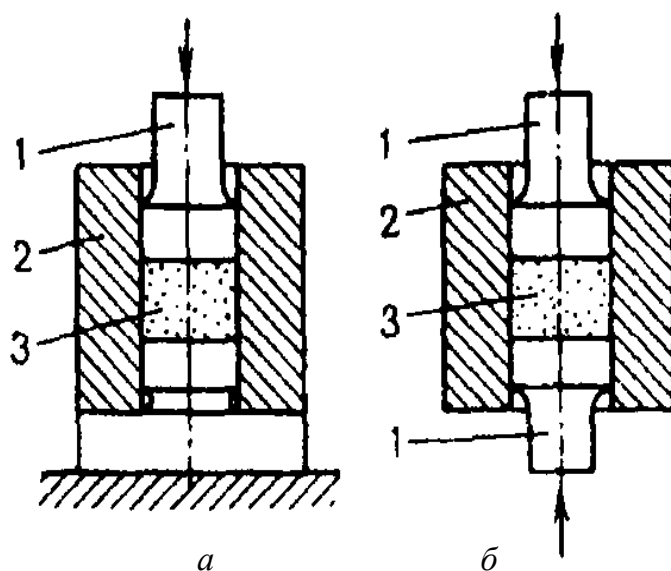


Рис. 43. Схемы холодного прессования:  
*а* – одностороннего; *б* – двустороннего;  
 1 – пуансон; 2 – пресс-форма; 3 – порошок

Заготовки, полученные после прессования, обладают низкими механическими свойствами, а также не имеют нужных химико-физических свойств. В связи с этим «сырые» заготовки подвергают спеканию при температуре 0,7–0,9 от температуры плавления металла порошка однокомпонентной порош-



ковой шихты или температуры плавления основного компонента в многокомпонентной шихте.

Размеры металлокерамических деталей после спекания получаются с точностью 12–14 квалитетов и  $R_a = 10$  мкм. Калибрование в специальных пресс-формах повышает точность до 8–11 квалитетов при шероховатости поверхности  $R_a = 1,25–2,5$  мкм.

Метод порошковой металлургии имеет свои особенности, ограничивающие его применение:

- 1) порошковая масса не в состоянии заполнить углы формы;
- 2) невозможно правильно отформовать углубления, резьбы и другие элементы, расположенные под прямыми углами к направлению прессования;
- 3) неравномерная плотность вызывает большие напряжения в деталях во время их изготовления, особенно при спекании, при котором появляются неравномерные усадки, коробление и даже трещины;
- 4) при прессовании в закрытых формах максимальная масса изделий достигает не более 20–30 кг, при этом необходимы прессы большой мощности;
- 5) из-за высокой стоимости технологической оснастки метод экономичен в условиях крупносерийного и массового производства, но при появлении группового метода изготовления заготовок применение метода может быть рентабельным и в условиях мелкосерийного производства.

### **Получение заготовок из пластмасс: сущность процесса**

Пластмассы обладают рядом ценных качеств, благодаря которым их удельный вес в машиностроении имеет тенденцию к возрастанию. К основным эксплуатационным достоинствам пластмасс относятся: малая плотность, высокая демпфирующая способность, сравнительно высокая стойкость к агрессивным средам, высокие электро-, тепло-, звукоизоляционные, фрикционные и другие свойства [4].

К технологическим *достоинствам* пластмасс относятся простота и легкость получения заготовок сложной формы при невысоких (по сравнению с металлами) температурах формообразования, технологическая простота армирования пластмассовых деталей металлическими элементами, высокая точность получаемых размеров, не требующая во многих случаях механической обработки, отличная обрабатываемость резанием при сравнительно низких энергозатратах.

*Недостатки* пластмасс: пониженные механические характеристики прочности, невысокий температурный режим эксплуатации и более узкий его диапазон, ограниченность в размерах, обусловленная невозможностью изготовить пресс-форму огромных размеров, высокая стоимость, в 3–85 раз превосходящая стоимость черных металлов.

По поведению при нагревании пластмассы делят на две основные группы: терморезистивные (реактопласты) и термопластические (термопласты). Реактопласты при нагревании вначале переходят в вязкотекучее состояние, а затем превращаются в необратимые, неплавкие и нерастворимые вещества. В отличие от них термопласты при нагревании и охлаждении способны многократно переходить из твердого состояния в вязкотекучее и обратно, т. е. изменяться обратимо.

Из пластмасс изготавливают довольно большую номенклатуру деталей: зубчатые колеса, звездочки, штурвалы, рычаги, корпуса, кронштейны, втулки, крышки, колпаки, крепежные и другие детали в бытовой и декоративной технике, при изготовлении детских игрушек и т. д. [4].

### **Способы изготовления заготовок из пластмасс**

**Литье под давлением** (рис. 44) является наиболее производительным способом получения деталей из пластмасс. Используется в массовом производстве заготовок простой и сложной конфигурации. Осуществляется на специальных машинах, предназначенных для расплавления пластмассы и подачи ее поршнем или шнеком под давлением 50–250 МПа в закрытую охлаждаемую пресс-форму, при раскрытии которой изделие автоматически выталкивается [4].

Исходным материалом при этом способе изготовления заготовок служат термопласты: полиамид, полиэтилен, капрон, этрол, полистирол, полипропилен, полиформальдегид, полиуретан, полихлорвинил [4].

**Прямое (компрессионное) прессование** применяется для производства заготовок мелких и средних размеров и осуществляется на гидравлических прессах усилием 100–10000 кН и с гидравлическим выталкиванием. Прессование может производиться в закрытых и открытых пресс-формах. В качестве материалов при прессовании применяются термопласты без наполнителя, а также реактопласты (порошкообразные, волокнистые и слоистые) [4].

**Литьевое прессование** используется для производства заготовок сложной конфигурации с локальными утолщениями, более тонкими сечениями и более глубокими отверстиями, чем у заготовок, изготавливаемых прямым прессовани-

ем. Исходным материалом при этом способе служат пресс-порошки, волокниты и терморезактивные материалы с порошковым и мелковолокнистым наполнителями [4].

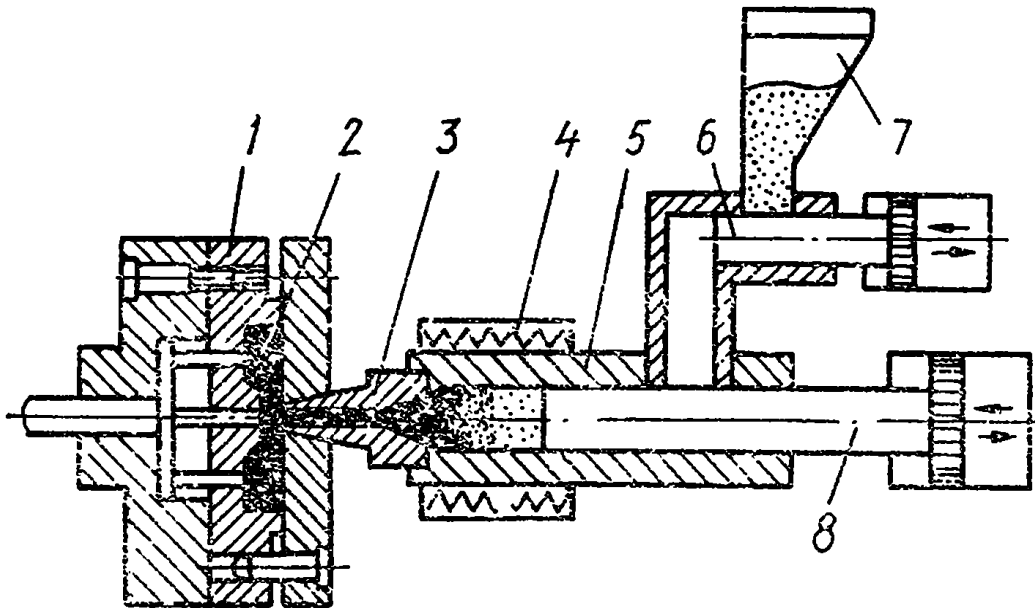


Рис. 44. Схема дозирующего и прессующего устройств машин для литья под давлением:

1 – пресс-форма; 2 – изделие; 3 – сопло; 4 – электронагревательное устройство; 5 – литевой цилиндр; 6 – дозирующий плунжер; 7 – бункер; 8 – плунжер литьевого цилиндра; 9 – пластификационный шнек

**Дутьевое (пневматическое) формование** используется для производства заготовок открытого типа (крышки, контейнеры, корыта и др.) из листовых термопластов толщиной 1,5–4 мм. В качестве исходных материалов используют, например, оргстекло, винипласт, полиэтилен, полистирол [4].

**Вакуумное формование** используется для неглубокой вытяжки крупногабаритных заготовок панельного типа. Изделие формируется вакуумным всасыванием предварительно размягченного листа в матрицу, а выталкивается сжатым воздухом. Исходный материал – листовой термопласт толщиной 1,5–3 мм [4].

**Комбинированное формование** применяется для изделий сложной конфигурации с поднутрениями, а также при глубокой вытяжке. Исходный материал – листовой термопласт толщиной 2–4 мм. Формование осуществляется на специальных машинах, оснащенных опокой с прижимным кольцом и пуансоном [4].

**Экструзия (выдавливание)** используется для производства профильной заготовки неограниченной длины, а также для нанесения пластмассовой изоля-

ции на проволоку. Осуществляется на различного типа шнековых экструзионных машинах.

Точность для размеров элементов заготовок, оформляемых в одной части формы, может находиться в пределах 7–17 квалитетов. Шероховатость поверхности пластмассовых заготовок зависит от качества обработки пресс-форм, вида наполнителя и технологических режимов формования. Параметр шероховатости поверхности заготовок, изготавливаемых литьем под давлением и прессованием, соответствует  $R_a = 0,32–1,25$  мкм, а в отдельных случаях достигает  $R_a = 0,08–0,32$  мкм. Ориентировочные границы значений припусков для различных материалов колеблются в пределах, мм: при точении – 0,1–2,5, фрезеровании – 1–4, шлифовании – 0,5–0,4 [4].

### **Вопросы для самопроверки**

1. Порошковая металлургия: сущность процесса, область применения.
2. Получение заготовок из пластмасс: сущность процесса.
3. Способы изготовления заготовок из пластмасс.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кушнер, В. С. Технологические процессы в машиностроении. В 2 ч. Ч. I. Металлургия, литейное производство и обработка резанием : учеб. для машиностроит. направлений и специальностей техн. ун-тов / В. С. Кушнер, А. С. Верещака, А. Г. Схиртладзе, Д. А. Негров ; под. ред. В. С. Кушнера. – Омск : Изд-во ОмГТУ, 2005. – 200 с.
2. Кушнер, В. С. Технологические процессы в машиностроении. В 2 ч. Ч. II. Обработка металлов давлением и сварочное производство : учеб. для машиностроит. направлений и специальностей техн. ун-тов / В. С. Кушнер, А. С. Верещака, А. Г. Схиртладзе, Д. А. Негров; под. ред. В. С. Кушнера. – Омск : Изд-во ОмГТУ, 2005. – 200 с.
3. Проектирование и производство заготовок : учеб. для вузов / А. П. Миныхов [и др.] ; под общ. ред. В. Н. Тилипалова. – Калининград : Изд-во КГТУ, 2005. – 144 с.
4. Руденко, П. В. Проектирование и производство заготовок в машиностроении : учеб. пособие / П. В. Руденко, Ю. А. Харламов, В. М. Плескач ; под общ. ред. В. М. Плескача. – Киев : Выща школа, 1991. – 247 с.
5. Справочник технолога-машиностроителя. В 2 ч. Ч. 1 / под ред. А. Г. Косиловой и Р. К. Мещерякова. – 4-е изд., перераб. и доп. – М. : Машиностроение, 1986. – 656 с.
6. Технология конструкционных материалов : учеб. для студентов машиностроительных специальностей вузов / А. М. Дальский [и др.] ; под ред. А. М. Дальского. – 5-е изд., испр. – М. : Машиностроение, 2004. – 512 с.
7. Титов, Ю. А. Свободная ковка. Основные операции и технологии : учеб. пособие / Ю. А. Титов, А. Ю. Титов. – Ульяновск : Изд-во УлГТУ, 2011. – 73 с.