



МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
имени Н.Э. БАУМАНА

# Учебное пособие

Курс лекций

**«Технология производства электронных средств»**

МГТУ имени Н.Э. Баумана

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
имени Н.Э. БАУМАНА

Курс лекций

**«Технология производства электронных средств»**

Москва  
**МГТУ имени Н.Э. Баумана**

**2012**

УДК 681.3.06(075.8)  
ББК 32.973-018  
И201

Курс лекций «Технология производства электронных средств» / Коллектив  
авторов –  
М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2012. – 37 с.: ил.

В курсе лекций рассмотрены основные этапы дисциплины «Технология производства электронных средств».

Ил. 39. Табл. 5. Библиогр. 7 назв.

УДК 681.3.06(075.8)

© МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2012

## АННОТАЦИЯ

В курсе лекций рассмотрены основные темы курса «Технология производства электронных средств» такие как: виды литья, виды штамповки, отличительные особенности каждого из методов, базовые оснастки для реализации методов, положительные и отрицательные стороны технологических процессов по изготовления деталей тем или иным методом.

## ANNOTATION

The course of lectures addressed the main themes of the course "Technology of production of electronic media" such as: types of casting, stamping forms, distinctive features of each method, the basic equipment for the implementation of methods, both positive and negative aspects of technological processes for production of parts one way or another method.

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	6
1 ЛЕКЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО КУРСУ ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА ЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ .....	7
1.1 Лекция 1.....	7
1.2 Лекция 2.....	10
1.3 Лекция 3.....	13
1.4 Лекция 4.....	15
1.5 Лекция 5.....	17
1.6 Лекция 6.....	19
1.7 Лекция 7.....	20
1.8 Лекция 8.....	23
1.9 Лекция 9.....	26
1.10 Лекция 10.....	27
1.11 Лекция 11.....	30
1.12 Лекция 12.....	32
1.13 Лекция 13.....	34
ВЫВОДЫ.....	36
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	37

## ВВЕДЕНИЕ

Данный конспект лекций составлен на основе лекционного курса, читаемого в МГТУ им. Н.Э. Баумана на кафедре иу4 преподавателем Журавлевой Л. В. Курс лекций рекомендован к выполнению текущих аттестационных мероприятий и подготовки к экзамену по предмету «Технология производства электронных средств».

# 1 ЛЕКЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО КУРСУ СХЕМОТЕХНИЧЕСКОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ

## 1.1 Лекция 1

Процесс литья состоит из 9 основных операций:

### Формообразование.

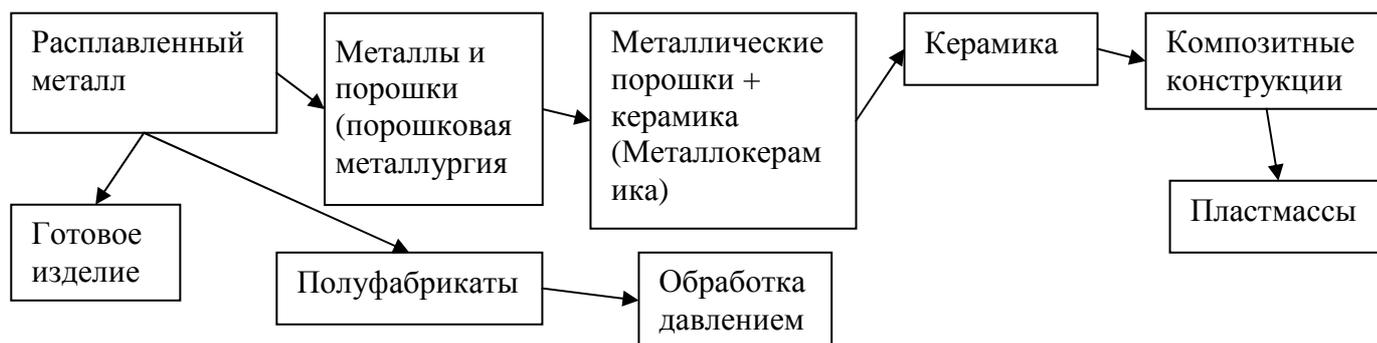


Рисунок 1 – Виды формообразования

### Изготовление литых деталей.

Литье-наиболее простой и дешевый способ формообразования.

Средняя трудоемкость в % по основным методам обработки в приборостроении.

Таблица 1 – Параметры видов формообразования

1. Литье	2-5% (групповые методы обработки)
2. Обработка давлением	8-15%
3. Механосборка	30-40% (ручная)
4. Обработка пластмасс	3-7% (групповые методы обработки)
5. Другие	2%

Процесс литья состоит из 9 основных операций:

1. Разработка чертежа детали (Конструкторская документация)
2. Разработка чертежа модели
3. Изготовление модели
4. Разработка чертежа формы
5. Изготовление формы
6. Плавка металла
7. Заливка металла в формы и охлаждение отливки
8. Удаление отливки из формы
9. Удаление литников и зачистка отливки

Основным инструментом литейного производства является форма. От качества изготовления формы в большой степени зависит качество отливки. Формы делят на:

1. Разовые (служат 1 раз и разрушаются при удалении отливки)
2. Полупостоянные (позволяют получать несколько отливок)
3. Постоянные (позволяют получать от 10 до нескольких тысяч отливок)

## Виды литья

- Для разовых форм:
  1. Литье «в землю» +
  2. Литье в оболочковые формы +
  3. Литье по выплавленным моделям +
- Для полупостоянных форм:
  1. Литье в керамические формы
  2. Литье в графитовые формы
- Для постоянных форм:
  1. Литье в кокиль
  2. Литье под давлением +

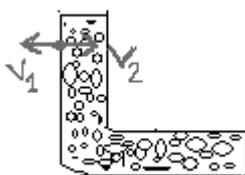
## Общие принципы конструирования литых деталей

Конструируя литую деталь необходимо учитывать литейные свойства заливаемого состава:

1. Жидкотекучесть
2. Кристаллизация
3. Усадка

Жидкотекучесть определяет выбор оптимальной толщины стенки детали. Чем она больше, тем тоньше может быть получаемая стенка. В тоже время она зависит от условий теплопередачи в форме. В водоохлаждаемых стальных формах жидкотекучесть сплава падает очень быстро.

Кристаллизация сплава происходит в направлении, перпендикулярном поверхности теплоотдачи. Её скорость меняется от максимальной у поверхности до минимальной в центре стенки отливки. Одновременно происходит рост кристаллов зерен. Для создания равномерной и мелкозернистой структуры желательно уменьшать толщину отливок. (если детали полые, то толщину стенок отливок).



$V_1$ -скорость рекристаллизации  $V_2$ -скорость теплоотвода

Рисунок 2 – Схема остывания заготовки

Усадка – это свойство металлов и сплавов уменьшаться в объеме при охлаждении. Относительная линейная усадка ( $K$ ) после заливки металла в форму выражается отношением:

$$K = \frac{l_{\phi} - l_{отл}}{l_{\phi}} \otimes 100\% , \text{ где } L_{\phi}\text{-размер формы, } L_{отл}\text{-размер отливки при комнатной температуре.}$$

Линейная усадка вызывает трещины коробления вследствие торможения кристаллизаций в отдельных местах отливки. Объемная усадка приводит к образованию усадочной пористости в утолщенных местах отливки.

Жидкотекучесть, кристаллизация и усадка (свойства сплава) определяют следующие свойства отливок:

1. Равнostenность
2. Радиусы закруглений
3. Плавные переходы
4. Уклоны и конусность
5. Отверстия
6. Армирование

Равнostenность-толщина стенок отливки на всем протяжении должна быть одинаковой. Это обеспечивает равномерность усадки и отсутствие усадочных раковин. Для сохранения необходимой точности отливку усиливают ребрами жесткости. Толщина ребер жесткости составляет:

1. Для внешних ребер  $\delta_p = (0.8-0.9) \delta$
  2. Для внутренних ребер  $\delta_p = (0.6-0.7) \delta$
- $\delta$  -средняя толщина стенки

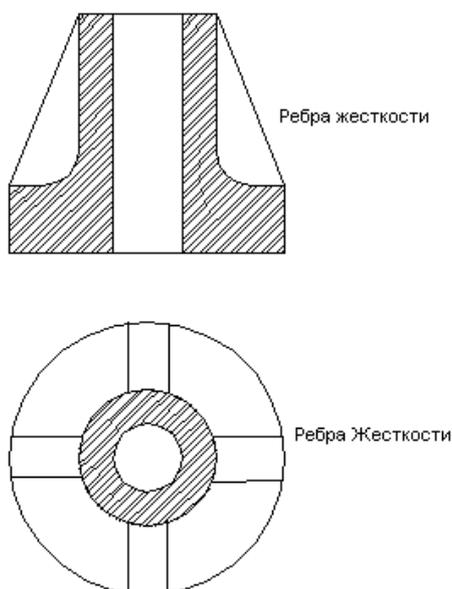


Рисунок 3 – Схема втулкообразной заготовки

## 1.2 Лекция 2

### Радиусы закруглений.

В местах сопряжения двух стенок необходимо делать радиусы закруглений для того, чтобы избежать трещин вследствие неравномерной кристаллизации. Рекомендуется закруглять острые внешние и внутренние кромки. Острые кромки допускаются только на плоскостях разъема формы. Величина радиуса закругления зависит от способа литья. Радиусы закруглений на стыках стенок определяются выражением:

$R = \frac{\delta + \delta_1}{k}$ , где R- радиус закруглений,  $\delta, \delta_1$ -толщина стенок, K- коэффициент (зависит от способа литья)

Для литья «в землю» и оболочковые формы K=3

Для литья в кокиль K=5

Для литья под давлением и по выплавляемым моделям R=0.8-1.0 мм.

Это связано с точностью на малогабаритных моделях. Радиусы закруглений внешних кромок обозначаются ( $r$ ), обычно уменьшаются в 2 раза по сравнению с  $R$ .  $r = R/2$

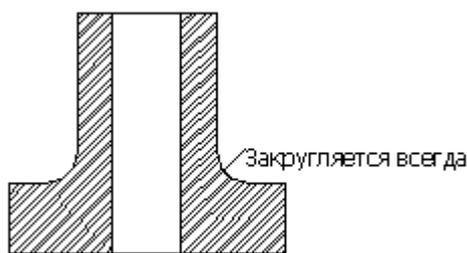


Рисунок 4 – Схема заготовки

**Плавные переходы** – переходы от толстых сечений к тонким должны быть равными

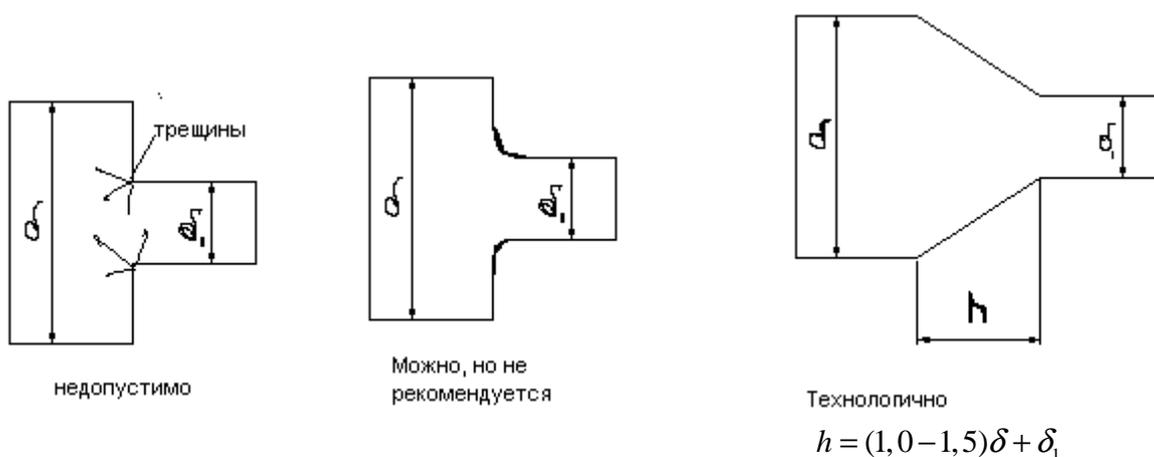


Рисунок 5 – Схема заготовки с утончением кверху

### **Уклоны и конусность**

На необрабатываемых поверхностях расположенных перпендикулярно плоскости разъема формы необходимо соблюдать уклоны и конусность. Если конусность недопустима по конструктивным соображениям, то она входит в припуск и удаляется при механической обработке.

Для литья «в землю», кокиль и оболочковые формы конусность на внешних и внутренних поверхностях берется в пределах  $\beta, \beta_1 = 2^\circ - 5^\circ$

Для литья по выплавляемым моделям и под давлением  $\beta, \beta_1 = 15^\circ - 30^\circ$

### **Отверстия**

Рекомендуется изготавливать отверстия сразу при литье т.к. при последующем сверлении в утолщениях отливок скрываются газовые или усадочные раковины. При необходимости получения отверстий с чистой поверхностью и точными размерами оставляют припуск на механическую обработку.

Не рекомендуется делать очень глубокие отверстия, для которых  $l < 3d$  В крайнем случае отверстия делают с перемычками.

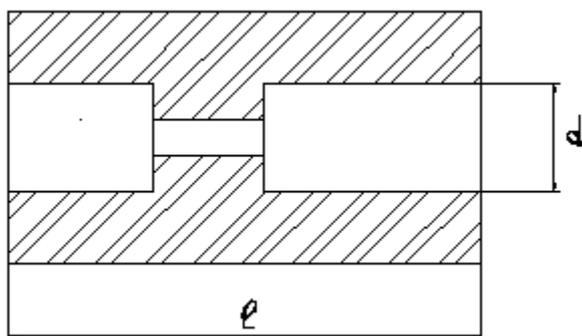


Рисунок 6 – Схема тонких мест в заготовке

**Армирование**-использование нового материала для получения новых свойств.

В зависимости от назначения рассматривают три направления армирования:

1. Для создания равноосности.
2. Для создания качественно новых изделий.
3. Армирование, заменяющее сборку.

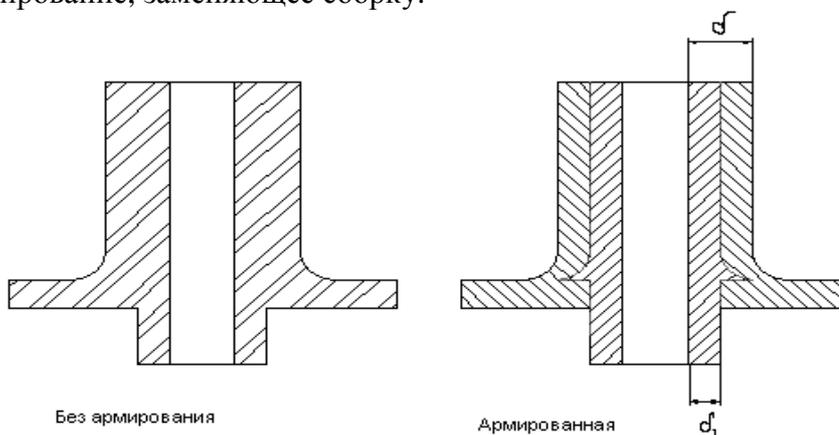


Рисунок 7 – Схема комбинированной заготовки

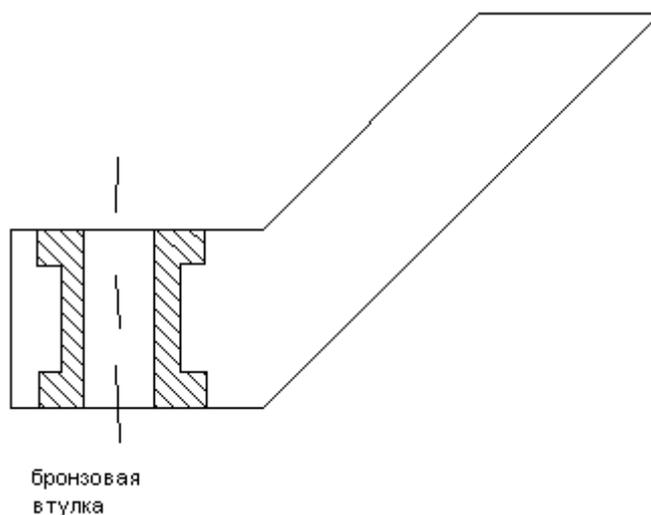


Рисунок 8 – Запрессованная втулка

### Литье «в землю»

В приборостроении литье в землю применяют для изготовления крупногабаритных отливок. Отливка, получаемая в земляной форме должна иметь на обрабатываемых поверхностях значительные припуски. Минимальный припуск задают на нижних поверхностях. Большой припуск на верхних горизонтальных поверхностях объясняется загрязнением при заливке. Из этих соображений наиболее ответственные поверхности отливок располагают в нижней части формы. На вертикальных поверхностях делают уклоны и конусность для удобства удаления моделей и формовки. По чертежу отливки разрабатывают чертеж модели. Размеры модели отличаются от размеров отливки на величину усадки.

$$l_{\text{мод}} = l_{\text{отл}} + \frac{l_{\text{отл}} * K}{100} [\text{мм}]$$

Модели изготавливают из двух половинок, которые соединяются по плоскости разреза с помощью штырей.

В мелкосерийном производстве применяют деревянные модели. В серийном и массовом-чугунные и силуминовые(Al+Si). Модель имеет знаковые части. Знаки модели при формовке образуют углубления в которых закрепляются песчаные стержни. Для приготовления стержней применяют быстросохнущие стержневые смеси. После изготовления их сушат при T=2000 С. С целью ускорения процесса сушки в качестве крепителя применяют жидкое стекло.

### 1.3 Лекция 3

По детали изготавливаем модель.

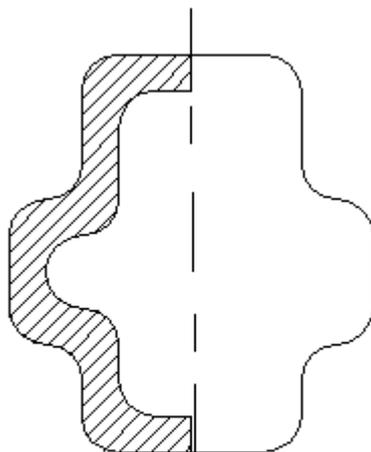


Рис Деталь

Рисунок 8 – Заготовка в разрезе

По детали изготавливаем модель.

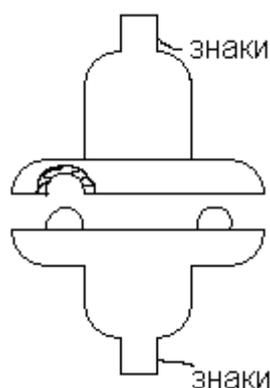


Рисунок 9 – Модель для отливания заготовки

Знаки нужны для того чтобы сформировать внутреннюю полость с помощью стержней.

По модели изготавливают верхнюю и нижнюю часть формы (полуформы). Полуформы изготавливают вручную или на формовочных машинах, на которых земля в полуформах уплотняется прессованием или встряхиванием.

Формовочная смесь состоит из песка, глины, крепителя и противопригарных добавок, смешанных с малым количеством воды.

Половина модели закрепляется на деревянную подставку, устанавливаются опоки, создающие объем формы. Пространство между опоками засыпают формовочной смесью и утрамбовывают. После застывания подставку с моделью снимают.

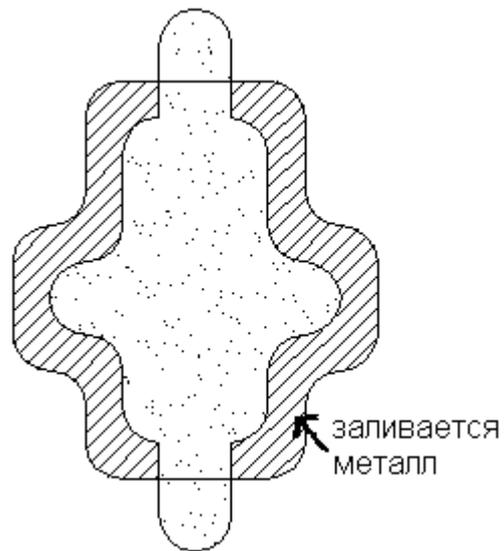


Рисунок 10 – Форма для дальнейшей отливки

Формовочная смесь состоит из песка, глины, крепителя и противопопригарных добавок, смешанных с малым количеством воды.

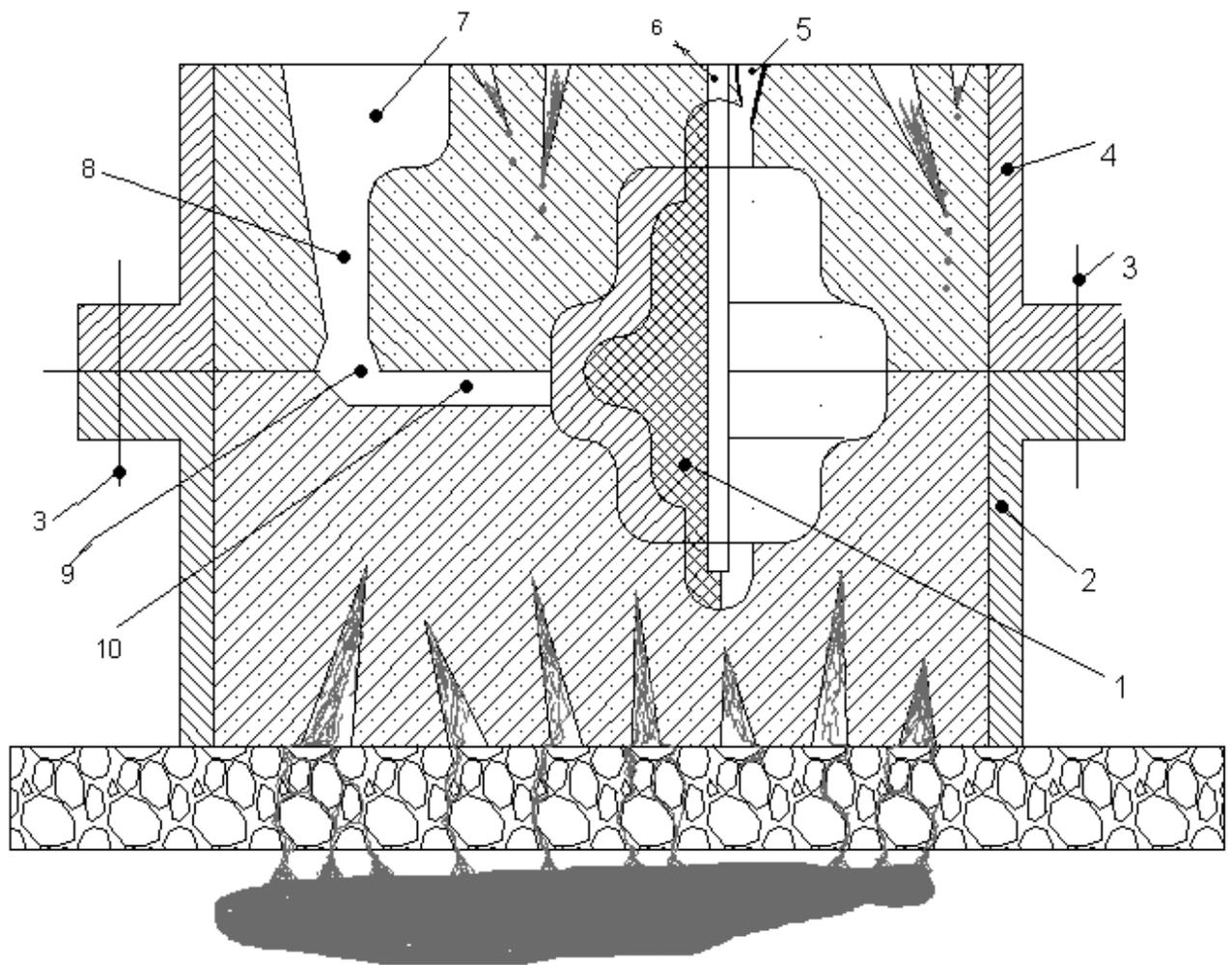


Рисунок 11 – Схема литья с использованием литейной чаши

- 1-стержень
- 2,4-опки
- 3-крепительный штырь

- 5-выпор
- 6-канал для отвода газов
- 7-литниковая чаша
- 8-стояк
- 9-шлакоулавнитель
- 10-питатель

## 1.4 Лекция 4

### Литье в оболочковые формы

Применение: для получения стальных отливок, также отливок из алюминиевых сплавов, имеющих простую конфигурацию без полостей (рычаги, кронштейны). Шероховатость поверхностей находится в пределах II

### Модели

Полумодели изготавливают из стали или из дерева. Размеры деревянных моделей рассчитывают также, как и при литье в землю, а размеры стальных моделей определяют с учетом расширения моделей, работающих в диапазоне температур 150-300 °С.

### Формовочная смесь

Она состоит из мелкозернистого песка и терморезактивной смолы (пудвербакелит). Это смесь порошка фенолформальдегидной смолы + уротропин. Для отливок из стали в песок добавляют 3-4% пудвербака. Для отливок из цветных металлов – 7-8% пудвербака. Если песок мелкозернистый, то поверхность металла будет более гладкой.

Терморезактивная смола- это смола которая образует после первого нагрева неплавкие продукты которые называются необратимыми.

### Оболочковые формы

Они также как и земля являются разовыми однако для тонких оболочек требуется в 20-30 раз меньше формовочной смеси. Оболочки обладают хорошей газопроницаемостью и изготавливаются из мелкозернистого песка, благодаря чему повышается качество отливок. Процесс изготовления оболочковых форм легко поддается механизации. Существует 2 способа изготовления форм:

1. Бункерный
2. Прессование оболочки через резиновую диафрагму

### Бункерный способ изготовления оболочковых форм

Полумодель 4 закрепляют на металлической крышке бункера. На поверхность полумодели наносят разделительный состав, нагревают до 200 °С и закрепляют на бункере 1 скобами 3. Бункер заполняют формовочной смесью (предварительно). После закрепления модели бункер поворачивают на 180°, и формовочная смесь 2 попадает на нагретую полумодель. Терморезактивная смола расплавляется склеивая песчинки и образует сырую оболочку 5. Толщина зависит от времени выдержки смеси на полумодели. В течении 15-20 сек. Образуется

оболочка толщиной 8-12 мм. Через 15-20 сек. бункер возвращают в исходное положение. Сухая формовочная смесь сыпается на дно бункера, а полумодель с оболочкой помещается в термошкаф и выдерживается при  $T=250-300\text{ }^{\circ}\text{C}$  в течение 2-3 минут. Следует окончательное затвердевание.

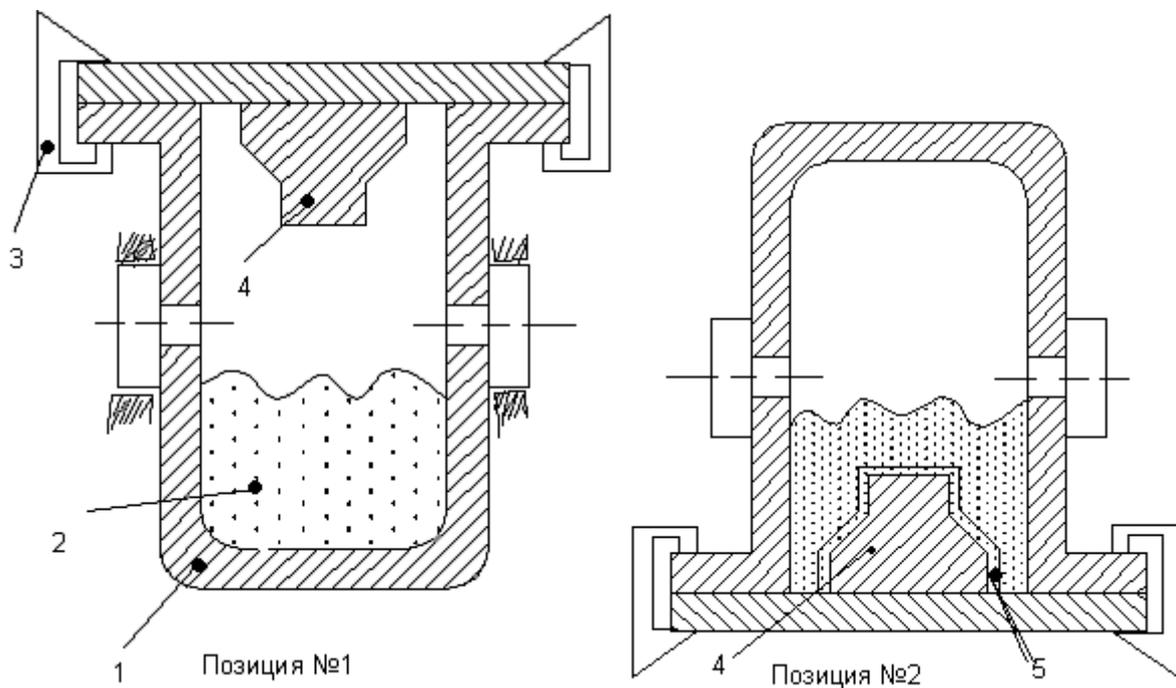


Рисунок 12 – Схема литья в переворачивающейся камере

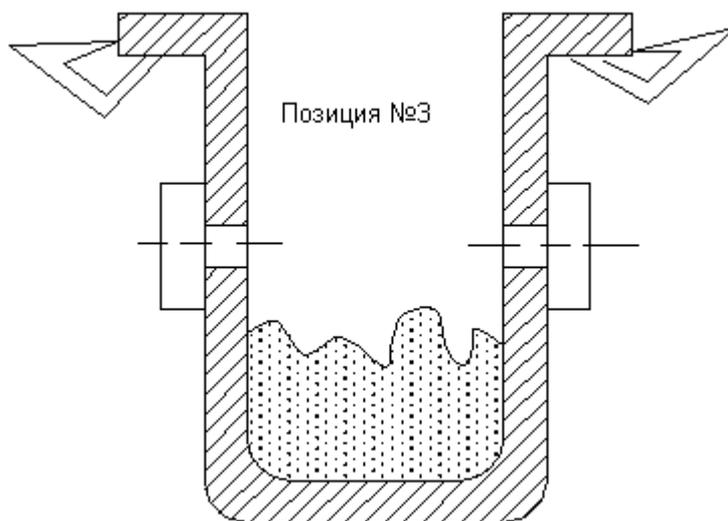


Рисунок 13 – Камера после удаления заготовки

Изготовление формы-оболочковые полумодели склеивают клеем БФ-2 в нагретом состоянии и зажимают перед заливкой пневматическими зажимами с резиновыми амортизаторами. Крупные оболочки перед заливкой устанавливают в опоки и засыпают дробью.

## 1.5 Лекция 5

### Литье по выплавляемым моделям

Применение: широко применяют в приборостроении для изготовления отливок сложной конфигурации массой от нескольких грамм до нескольких килограмм с толщиной стенок 0.3-20 мм. и более.

Особенности метода: 1) толщина стенок зависит от размера детали. 2) Вследствие коробления отливки при длительном охлаждении для сохранения параллельности поверхностей применяют ребра жесткости и наружные установочные буртики, которые потом удаляют механической обработкой.

Этим способом можно получать отливки почти из любых сплавов.

Таблица !! ( должна дать распечатку!)

### Модели

Процесс изготовления модели состоит из следующих основных операций:

1. Изготовление эталонной модели.
2. Изготовление пресс-формы.
3. Очистка пресс-формы и нанесение антиадгезива (силиконовой смазки)
4. Запрессовка модельного состава под давлением 2-3 кг/см<sup>2</sup>
5. Охлаждение модели да 15-18 °С (при использовании деревянных пресс-форм их «замораживают» в холодильнике до 10 °С .

Модели изготавливают из легкосплавного состава заливкой в пресс-формы. Для крупносерийного и массового пр-ва конструируют многоместные металлические пресс-формы, которые закрепляют на поворотных столах. В таких пресс-формах изготавливают как правило звено модельного блока с элементами литниково-питательной системы. На приборостроительных заводах используют также деревянные пресс формы.

Модельные составы: для повышения прочности и теплостойкости в модельные составы добавляют этил-целлюлозу, буроугольный воск, полиэтилен и др. Для уменьшения усадки модельный состав запрессовывают в пастообразном состоянии.

Наиболее часто употребляемые составы:

1. ПС-50-50 (парафин-50%, стеарин-50%) температура запрессовки 42-43 °С
2. ПС-70-30 (догадаться сам) температура запрессовки 42-45 °С
3. Ппэ-85-15 (парафин-50%, полиэтилен-15%) температура запрессовки 58-60 °С

Рисунок: Модельное звено.

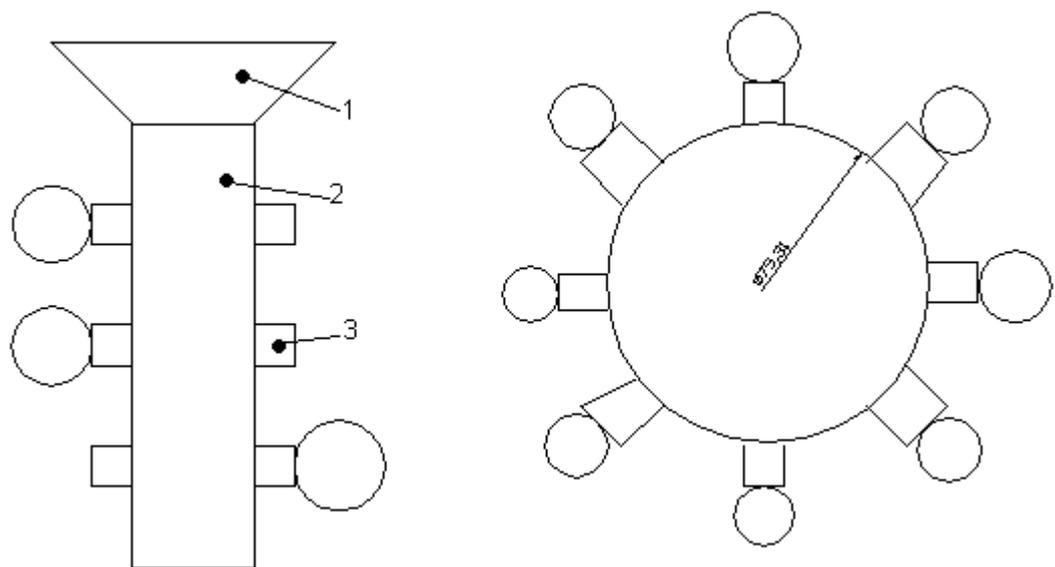


Рисунок 14 – Схема листовой чаши

- 1-литниковая чаша
- 2-стояк
- 3-питатель

Если к литниково-питательной системе присоединены модели отливок, то по горизонтали будет модельное звено, а все вместе-модельный блок.

### **Изготовление литейной формы**

Модель или модельный блок окунают в формовочную смесь, которая представляет собой суспензию, состоящую из мелкозернистого песка (маршалит) и связующего раствора. Суспензия – это дисперсная система из двух фаз-жидкой и твердой. В качестве связующего материала применяют растворы приготовленные на основе жидкого стекла или этилсиликата. На слой суспензии наносят крупнозернистый песок, который фиксирует суспензию на модели и не дает ей стекать; кроме того песок утолщает покрытия и делает их более газопроницаемыми.

Свеженанесенное покрытие не обладает прочностью и удерживается на поверхности модели только благодаря смачиванию, поэтому покрытия сушат. В процессе сушки с испарением влаги происходит необратимый процесс перехода связующего раствора из жидкого в твердое состояние. На модель наносят 3-5 слоев покрытия при средней толщине каждого 1 мм., с сушкой каждого слоя.

### **Выплавление модели**

Модели выплавляют погружением в горячую воду, горячим воздухом или перегретым водяным паром. После выплавления керамические оболочки прокаливают при температуре 900-1000 °С. При этом происходит удаление остатков модельного сплава и влаги за счет чего повышается заполняемость тонких смещений формы. Перед прокаливанием оболочку заформовывают, т.е. засыпают в ящике-опоке наполнителем. Наполнитель-смесь: песок-50% и шамотная крошка.

## 1.6 Лекция 6

Теперь все многоразовое.

### Литье под давлением

Самый производительный способ изготовления тонкостенных деталей сложной конфигурации, не требующих механической обработки или ее минимум. Толщина стенок и других элементов отливок не превышает 1.5-2 мм и может достигать 0.8 мм. Хорошо отделанная и отполированная поверхность металлической формы дает возможность получать отливки с точными размерами и хорошей чистотой поверхности.

Процесс литья под давлением заключается в заливке расплавленного металла в камеру сжатия литейной машины с последующей перегонкой его через литниковую систему в полость формы. Заполнение полости в форме происходит при высокоскоростном потоке, обеспечивающем большую кинетическую энергию струи. Энергия движения при ударе струи потока о стенку формы переходит частично в тепловую, которая повышает температуру металла. Одновременно создается гидравлическое давление на стенку формы. Таким образом, высокая скорость потока обеспечивает четкое оформление внешних поверхностей отливок сложной конфигурации.

Скорость выпуска меняется от 0.5 до 120 м/с в зависимости от типа отливки и сплава. Поток металла, ударяясь на высокой скорости о преграду разбивается на мелкие капли, образуя смесь металла с воздухом и направляется к месту выпуска. Чем выше скорость потока во время удара, тем меньше размер капель и тем меньше размер форм в отливках. Источниками пористости в отливках являются также: усадка сплава и газы, выделяющиеся из жидкого сплава.

Точность размеров отливки и качество поверхности зависит от точности изготовления формы, качества поверхности формы и продолжительности ее эксплуатации.

Механические свойства отливок при литье под давлением значительно отличаются от свойств отливок полученных другими способами. При быстром охлаждении у отливок образуется литейная корочка с очень мелкозернистой структурой, поэтому такие отливки имеют повышенную твердость и прочность, но низкую пластичность.

При литье под давлением рекомендуется получать отливки с готовой как наружной, так и внутренней резьбами. Для деталей с глубокими отверстиями использовать армирующие стальные трубки и втулки, а также предусматривать места или специальные технологические приливы для размещения выталкивателей.

При выборе сплава необходимо учитывать:

1. Сплав должен обладать достаточной прочностью при повышенной температуре чтобы отливки не ломались при выталкивании
2. Обладать высокой жидкотекучестью
3. Иметь минимальную усадку
4. Иметь небольшой интервал кристаллизации

Эти требования ограничивают использование ряда литейных материалов. Этим способом изготавливают отливки свинцово-оловянных, Zn, Al, Mg, Cu сплавов.

### Машины для литья под давлением

**Машины с холодной камерой прессования:** не имеют плавильного агрегата, камера давления не окружена расплавленным металлом, следовательно нагревается значительно меньше, что позволяет повышать давление на металл. Высокое давление обеспечивает хорошее качество отливок из Al, Mg, Cu сплавов. В зависимости от расположения камеры прессования такие машины делят на машины с горизонтальной и вертикальной камерами прессования.

## Машины с горизонтальной камерой прессования

На рис. 15 изображена схема пресс камеры для литья под давлением

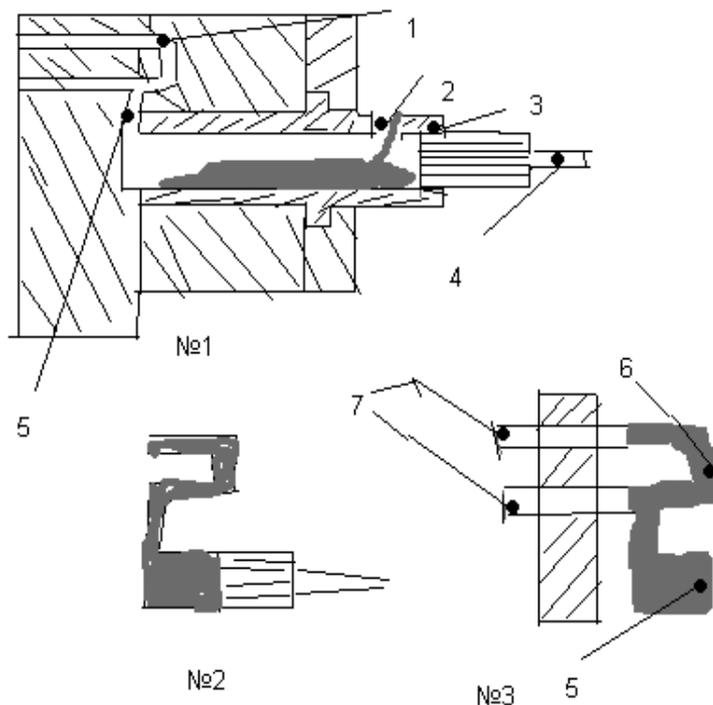


Рисунок 15 – Схема пресс камеры

### 1.7 Лекция 7

1. Форма
2. Окно
3. Камера прессования
4. Поршень
5. Литниковый канал
6. Отливка
7. Спец выталкиватель

### Машины с вертикальной камерой прессования

На рис. 15 изображена машина с вертикальной камерой прессования

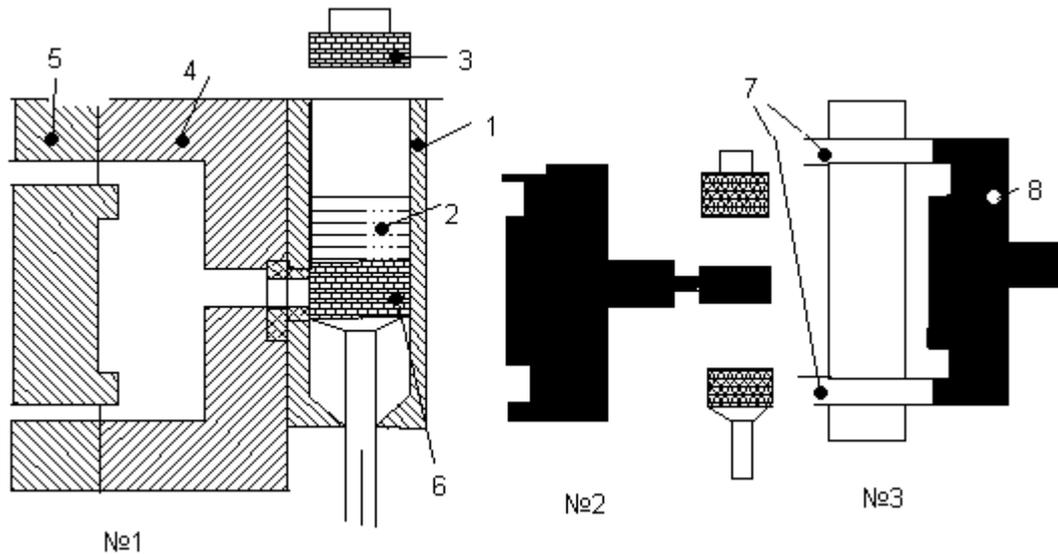


Рисунок 16 – Машина с вертикальной камерой прессования

После заливки расплавленного металла (2) в камеру прессования (1) поршень (3) опускается и, давя на пятку (6), открывает литниковое отверстие. Металл заполняет форму состоящую из двух половинок неподвижной (4) и подвижной (5). Когда металл затвердевает, пятка поднимается и срезает остаток металла, освобождая выход отливки вместе с литником. После раскрытия формы отливка (8) извлекается из полости формы специальными толкателями (7).

**Машины с горизонтальной камерой прессования имеют более короткую литниковую систему, следовательно меньше потери тепла и давления при подаче металла из камеры прессования в полость формы.**

### Машины с горячей камерой прессования

Применяют для отливки деталей из цинковых сплавов. Камера прессования расположена непосредственно в расплавленном металле. Такие машины имеют:

1. Гидравлический или пневмо привод
2. Просты по устройству, высоко производительны, могут быть полностью автоматизированы.

Металл из раздаточной печи заливается в подогреваемый тигель. При работе прессующего цилиндра поршень опускается, перекрывает отверстие через которое расплавленный металл поступает в полость камеры прессования. Под давлением металл поднимается по каналу и через мунштук заполняет форму.

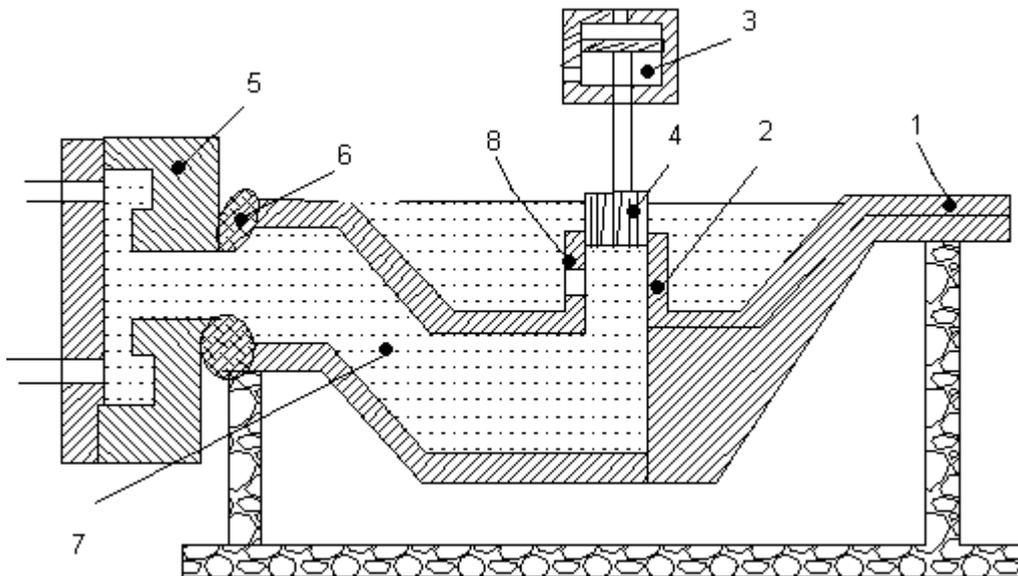


Рисунок 17 - Машины с горячей камерой прессования

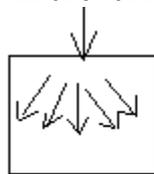
1. Тигель
2. Камера прессования
3. Прессующий цилиндр
4. Прессующий поршень
5. Форма
6. Мунштук
7. Канал
8. Отверстие

### **Композитные конструкции**

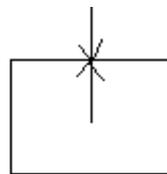
(Кусочно–однородные)

Это изделия содержащие элементы (детали) изготовленные из материалов с разными термомеханическими свойствами. При этом детали соединяются без использования методов сборки (механической). Особенностью композитных конструкций является:

1. Напряжение в местах сочленения деталей с разными термомеханическими свойствами возникают даже при равномерном изменении температур.
2. Напряжения концентрируются в местах сочленения с разными термомеханическими свойствами



ПРОГИБ



РАЗРУШЕНИЕ

Рисунок 18 – Композитные конструкции

Еще и красную карточку дали...

## 1.8 Лекция 8

### Обработка давлением

К процессам объединенным под общим названием «Обработка давлением» относятся процессы формообразования с использованием штампов и безштамповая обработка давлением.

Штампы используют для:

1. Штамповки в холодном и горячем состояниях
2. Вырубки и пробивки
3. Зачистки и калибровки
4. Гибки
5. Вытяжки
6. Обжима
7. Отбортовки отверстий
8. Холодного выдавливания
9. Правки (рихтовки)

К безштамповой обработке давлением относятся:

1. Волочение
2. Прокатывание лент и полос
3. Прокатывание профилей
4. Ротационное обжатие
5. Накатывание резьбы

**Сущность этих процессов заключается в том, что металл в холодном и горячем состояниях изменяет свою форму(деформируется) под действием давления которое больше сил сцепления молекул в металле.**

#### Холодно -листовая штамповка

В качестве основных листовых материалов для холодной штамповки используют:

1. Листовую сталь и стальную ленту
2. Листовые и ленточные цветные металлы и сплавы (латунь бронза медь и т д

Разнообразные операции холодной штамповки по характеру деформации объединяют в 2 группы:

1. Разделительные
2. Формоизменяющие

К разделительным относят операции в результате которых происходит полное или частичное отделение одной части материала от другой по замкнутому или незамкнутому контуру.

К разделительным операциям относят:

1. Отрезка
2. Вырезка
3. Вырубка
4. Пробивка
5. Надрезка
6. Обрезка
7. Зачистка

К формообразующим относятся операции в результате которых происходит изменение формы и размеров заготовок, перераспределение и заданное перемещение металла:

1. Гибка
2. Вытяжка

### 3. Формовка

#### Разделительные операции

- **Отрезка**

Это отделение одной части материала от другой по незамкнутому контуру на ножницах или штампах. Листовые материалы для холодной штамповки предварительно разрезают на полосы на ножницах: параллельных, гильотинных, дисковых. Резку металлов за исключением Mg и Ti толщиной более 1.5 мм как правило производят в холодном состоянии. Неметаллические материалы типа гетинакса и текстолита перед резкой надо нагреть в печах инфракрасного облучения, а фибру и картон увлажнять.

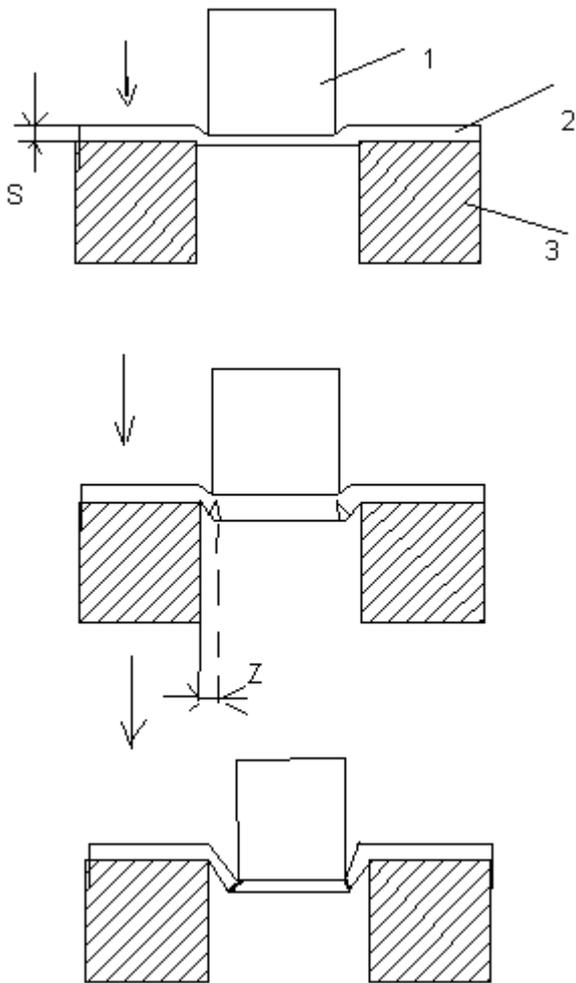
Отрезку в штампах используют для малогабаритных деталей из предварительно нарезанных полос толщиной от 0.2-0.3 до 0.6 мм. размером 120\*120 мм.

- **Вырезка на ножницах**

Для вырезки фасонных заготовок используют ножницы с одним или двумя наклонно поставленными ножами или виброножницы

- **Вырубка и пробивка**

Вырубку используют для выделения заготовки из листового материала, а пробивку для получения отверстия. Процессы вырубki и пробивки в некоторой степени аналогичны процессам резания ножницами. В данном случае пуансон и матрицы являются ножницами в замкнутой конфигурации, имеющие сопряженные режущие кромки однако эти процессы существенно отличаются.



Процесс вырубki и пробивки состоит из трех стадий:

1. Стадия упругих деформаций, во время которой происходит упругое сжатие с легким вдавливанием заготовки в отверстие матрицы (возникает тарельчатость). При этом напряжение в металле не превосходит предела упругости
2. Стадия пластических деформаций, в течение которой происходит вдавливание пуансона в металл и выдавливание его в отверстие матрицы. К концу этой стадии напряжение вблизи режущих кромок достигает максимума, который соответствует сопротивлению металла срезу.
3. Стадия скалывания в течение которой возникают сначала микро а потом макро трещины возле режущих кромок пуансона и матрицы и направленных по ..

Рисунок 19 – Схема Вырубki и пробивки заготовки

Величина погружения пуансона в металл до появления скалывающих трещин зависит от свойств вырубаемого металла и составляет  $h=(0.2-0.6)$  от  $S$ -толщины заготовки. Дальше пуансон проталкивает деталь через отверстие в матрице в тару. Поверхности среза у вырубленной детали имеют форму конуса (или отверстия). Качество среза, заусенцы по краям отверстия детали, а также стойкость штампов зависят от выбора зазора между матрицей и пуансоном.

## 1.9 Лекция 9

### Вырубка и пробивка

Рисунок: Штамп для пробивки отверстий.

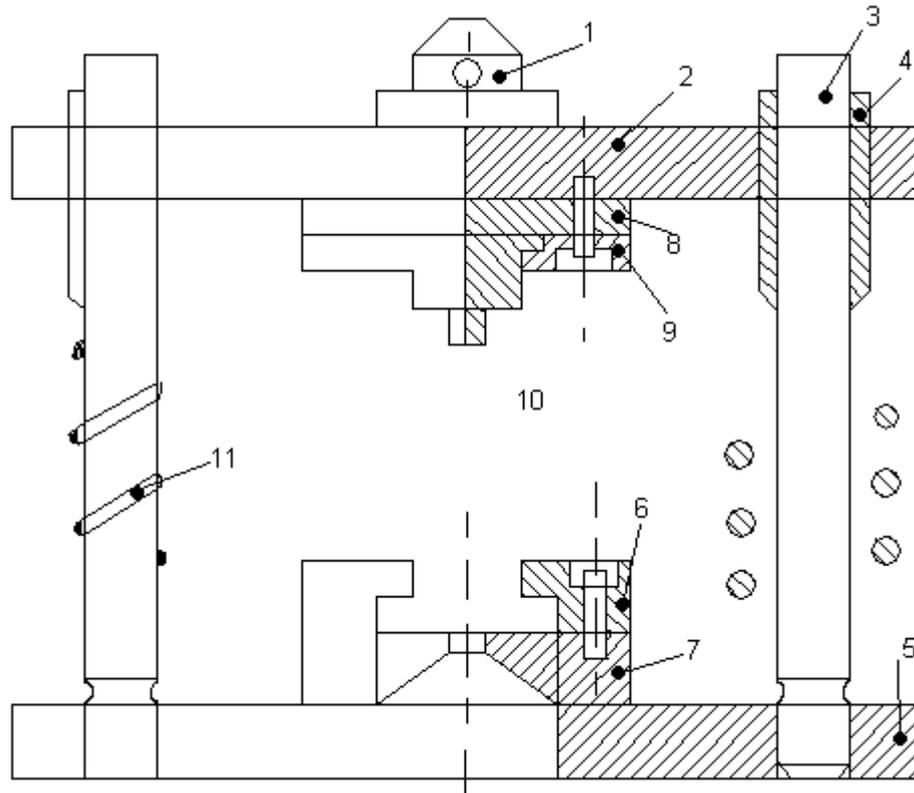


Рисунок 20 – Штамп для пробивки отверстий

1. Хвостовик
2. Верхняя плита
3. Направляющая колонка
4. Втулка
5. Нижняя плита
6. Съёмник
7. Матрица
8. Прокладка
9. Пуансонодержатель
10. Пуансон
11. Возвратная пружина

Могут быть различные варианты креплений к нижней плите. Как правило это запрессовка колонки. Проточка разделяет колонку и обеспечивает выход стружки. На нижнюю плиту крепят матрицу с помощью винтов, тогда деталь необходимо штифтовать. Штыри располагаются ближе к центру отверстия чем отверстия под винты. Установка на штифтах более точна. Матрицу можно крепить в канавку на нижней плите, если таковая присутствует.

На стойке одета возвратная пружина. Она выбрана так, чтобы обеспечивать возврат верхней плиты в исходное положение.

Верхнюю плиту одевают на направляющие колонки. Для того, чтобы обеспечить движение плиты без перекоса, необходимо большая площадь контакта плиты с колонкой. Это приведет к увеличению массы верхней плиты.

Для уменьшения массы верхней плиты и сокращения расхода дорогих прочных сталей толщину плиты уменьшают. В качестве материала используют недорогие стали с меньшей прочностью, а для обеспечения высокой износостойкости и перемещения верхней плиты без перекоса используют втулки из высокопрочных сталей.

К верхней плите крепится пуаннодержатель, изготовленный из неинструментальных сталей. Прочность обеспечивают прокладкой из прочных сталей. Пуансон крепится за заплечики. Хвостовик служит для передачи усилия.

## 1.10 Лекция 10

Величина  $Z$  (смотри рисунок стр 16) выбирается в зависимости от толщины материала:

1.  $S < 1$  мм, то  $Z = (3-2.7)S$
2.  $S > 1$  мм, то  $Z = (2.5-2.2)S$

Величину усилия вырубки или пробивки определяют по формуле:

$$P = L * S * \delta_{cp} * k = L * S * \delta_g$$

где  $L$  - периметр пробивки,  $S$  - толщина материала,  $\delta_{cp}$  - сопротивление срезу,  $k$  - коэффициент учитывающий неравномерность толщины материала, затупление режущих кромок матрицы и пуансона.  $K=1.1-1.3$ ,  $\delta_g$  - предел прочности.

После вырубки отходы, а после пробивки деталь, в силу упругих деформаций штампуемого материала, остается на пуансоне.

Для снятия отхода или детали необходимо приложить силу, величина которой определяется по формуле:  $P_c = \kappa_{сн} * P$ ,  $\kappa_{сн}$  - коэф-т зависящий от толщины материала и типа штампа. При  $S < 1$  мм  $\kappa_{сн} = 0.02-0.06$ ;  $S = 1-5$  мм  $\kappa_{сн} = 0.06-0.08$ ;  $S > 5$  мм  $\kappa_{сн} = 0.08-0.1$

Усилие проталкивания детали или отхода через отверстие в матрице зависит от механических свойств и толщины штампуемого материала, зазора между матрицей и пуансоном и определяется по формуле:  $Q = k_1 * P * n$ ,  $k_1$  - коэф-т = 0.05-0.08 (большее значение принимается для деталей меньшей толщины),  $n = h/S$  - количество деталей находящихся в пояске.

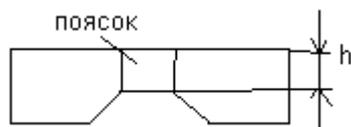


Рисунок 21 – Размер пояска

При обратном выталкивании усилие определяется по формуле:  $Q_2 = k_2 * P$ , где  $k_2$  - коэф-т = 0.1-0.15 (Большие значения для деталей с меньшей толщиной)

### Надрезка

Это отделение части материала по незамкнутому контуру без ее удаления. Надрезку применяют, главным образом, для создания таких элементов, как язычки и другие побочные элементы.

Форма надрезки должна обеспечивать свободный выход детали из матрицы без зацепления. При толщине материала более 1.5 мм во избежание появления трещин в углах сгиба следует сделать отверстие.

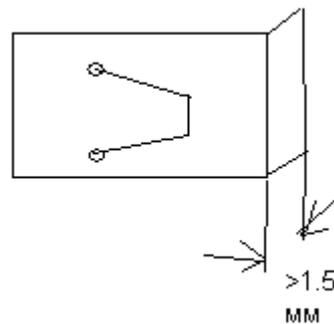
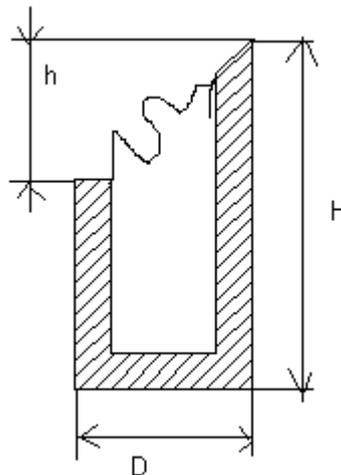


Рисунок 22 – Толщина заготовочного элемента

### Обрезка

Ее применяют для удаления неровных краев у полых деталей после вытяжки, формовки, отбортовки а также для удаления заусенцев после объемной штамповки.

Обрезку производят в штампах и на спец станках с дисковыми ножницами. Припуск на обрезку определяют по таблицам в зависимости от абсолютной высоты и относительной



высоты. (H/D)

Рисунок 23 – Высота заготовки и величина разъема

### Зачистка

Ее применяют тогда, когда в предварительно вырубленных деталях требуется получить чистую и перпендикулярную к плоскости детали пов-ность среза, более высокую по сравнению с вырубкой.

Зачистка осуществляется резанием режущими кромками матрицы или пуансона со снятием тонкой стружки с наружной или внутренней пов-ности среза деталей.

Наружная зачистка заключается в том, что заготовка с наружными размерами, большими размеров матрицы не величину припуска, под действием пуансона вдавливаются в матрицу при зачистке внутренней поверхности матрица служит только опорой для зачищаемой детали.

Отверстия в матрице подгоняют по пуансону с двухсторонним зазором  $Z=0.03-0.05$  мм.

Зачистка проводится в 1 или больше приемов.

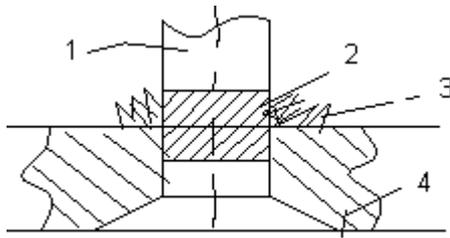


Рисунок 24 – Схема зачистки соединений

- 1-пуансон
- 2-деталь
- 3-стружка
- 4-матрица

### Раскрой материала

Это определение размеров заготовки и способ их взаимного расположения в полосе, ленте или листе. Возможны 3 способа раскроя листа:

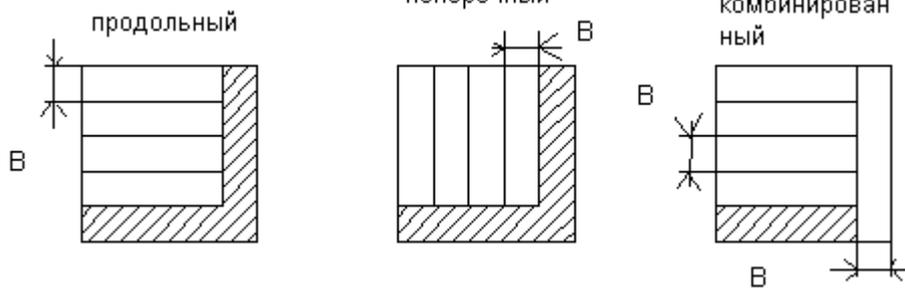


Рисунок 25 – Схема раскроя металла

Раскрой полос бывает с отходами по всему контуру вырубке детали

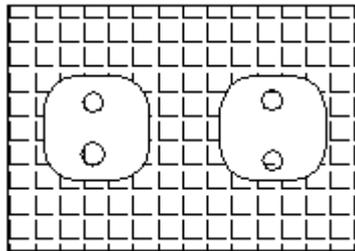


Рисунок 26 – Образование на металле зернистой структуры

С частичными отходами по краям и торцам полосы

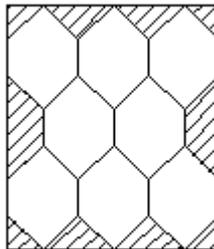


Рисунок 27 – Увеличенные зерна в структуре металла

Без отходов

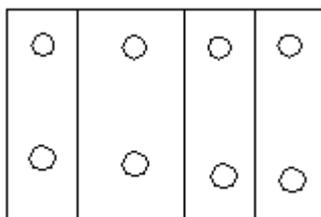


Рисунок 28 – Нормальная заготовка

На рис. 28 изображена металлическая заготовка с допустимым размером зерен

## 1.11 Лекция 11

### Процесс гибки

Гибка листового металла осуществляется в результате упруго-пластической деформации, протекающей различно с каждой из сторон изгибаемой заготовки.

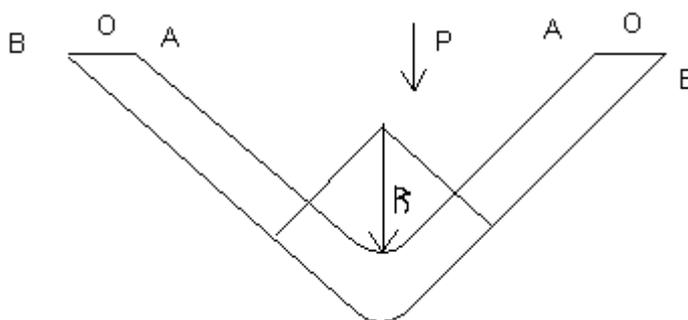


Рисунок 29 – Сгибание листового металла

ОО- НЕЙТРАЛЬНЫЙ

АА-ВНУТРЕННИЙ

ВВ-ВНЕШНИЙ

Слои металла внутри угла изгиба (со стороны пуансона) сжимаются и укорачиваются в продольном направлении и растягиваются в поперечном. Наружные слои (со стороны матрицы) растягиваются и удлиняются в продольном направлении и сжимаются в поперечном направлении. Между удлиненным и укороченным слоями находится нейтральный слой. Его длина равна начальной длине заготовки.

Определение размеров заготовки при гибке основано на равенстве длины заготовки длине нейтрального слоя изогнутой детали и сводится к определению положения и длины нейтрального слоя в зависимости от относительного радиуса изгиба  $R/S$ , где  $S$ -ширина заготовки

Следует избегать слишком малых радиусов гибки, влекущих за собой разрыв материала.

Минимально допустимый радиус гибки определяют по формуле:  $R_{\min} = k * S$ ,  $k$ -коэф-т, зависящий от механич. св-в металла. Берется из таблиц.

Минимальные радиусы гибки надо применять лишь в случае абсолютной конструктивной необходимости. Иначе рекомендуется для:  $S$  до 1.5 мм  $R > S$ ;  $S$  более 1.5 мм  $R > 2S$ .

Радиус нейтральной линии определяют по ф-ле:  $R_0 = x * S + R$ ,  $R$ -радиус внутренней гибки,  $x$ -величина, зависящая от соотношения  $R/S$ , берется из таблиц.

# Изготовление деталей методом порошковой металлургии и керамических деталей

## Металлокерамика

Это способ получения твердых сплавов из порошка металлов и неметаллических добавок, путем прессования их под большим давлением и спеканием при большой температуре.

Это отрасль технологии занимающаяся изготовлением металлических порошков и деталей из них.

Методы порошковой металлургии позволяют получать материалы и детали обладающие высокой жаропрочностью, износостойкостью, стабильными магнитными свойствами и полупроводники.

Механические св-ва металлокерамических деталей не очень уступают механическим св-вам литых заготовок. Методами порошковой металлургии можно изготовить детали, которые получают литьем, но потери материала при изготовлении этих деталей методами порошковой металлургии составляют 3-7%, в то время как при литье отходы достигают 80%.

Процессы порошковой металлургии наиболее эффективны при крупносерийном и массовом пр-вах.

Методы получения металлических порошков делят на:

1. Механические
2. Физико-химические

Механические чаще используют для отработки отходов.

При использовании механических методов подлежащий переработке материал измельчают в порошок без изменения хим состава.

К этим методам относят:

1. Получение порошка размолотом
2. Вихревой размол
3. Распыление газом или водой

Размол в шаровых мельницах используют для переработки черных и цветных металлов. Перерабатываемый материал засыпают в барабан заполненный металлическими шариками. При вращении образуются неправильные многогранники (100-1000 мкм). Диаметр барабана 250-1500мм, частота вращения 30-120 об/мин.

Размол в вихревых мельницах осуществляется при вращении пропеллера (3000 об/мин) При этом Fe, Al, Ti и др. образуют пластинки с зазубренными краями размером 50-200 мкм. Измельчают отходы производства. (стружка).

Виброизмельчение создается вибрацией 1400-1500 колеб/мин окислы металлов, керамика перерабатываются в неправильные многогранники р-ром 20-60 мкм.

Грануляция: тонкую струю расплавленного металла заливают в воду с образованием сфероидов 100-300 мкм. Эти гранулы применяют для спекания пористых деталей.

При физ-хим методах изменяется хим. состав исходного сырья или его агрегатного состояния ( восстановление металла из окислов). Эти способы позволяют получать очень чистые шихтовые (смесь) материалы.

Основными технологическими св-вами порошков являются:

1. Насыпной вес
2. Текучесть (сыпучесть)
3. Прессуемость

Насыпной вес-вес единицы объема свободно насыпанного порошка в г/см<sup>3</sup>. Постоянство насыпанного веса обеспечивает постоянную усадку при спекании. Значения веса берутся из таблиц.

Текучесть –это способность порошка заполнять форму. Она ухудшается с уменьшением размеров частиц порошка. Выражается числом граммов порошка вытекающих из отверстия за 1 сек.

Прессуемость-это способность порошка уплотняться приобретать и удерживать форму под действием сжимающих усилий. Максимальную прессуемость имеют порошки с разной зернистостью.

## 1.12 Лекция 12

Процесс изготовления деталей состоит из следующих операций:

1. Приготовление шифты требуемого состава
2. Дозирование
3. Формование (деталь)
4. Спекание
5. Термообработка
6. Калибрование
7. Механ. обработка
8. Гальванопокрытия

**Приготовление шифты требуемого состава:** Сначала порошки очищают химическим, гидро-механ. или магнитным способами. Затем их измельчают для выравнивания зернистости в шаровых мельницах. Возникающий при измельчении наклеп снимают отжигом в защитной или восстановительной среде. Шифту разделяют на фракции. Подготовленные таким образом порошки смешивают в вибросмесителях.

**Дозирование** порошков или шифты определяют:

- 1) **Весовым способом** – может применяться для всех исходных материалов, но он трудоемкий.
- 2) **Объемным способом** – при автоматизации дозирования и достаточно стабильным качестве смеси предпочтение отдают объемному способу.

**Формование:** Детали из порошков изготавливают:

- Прессованием в стальных пресс-формах

Применяют для изготовления мелких деталей. При прессовании в пресс формах нельзя получить детали сложной, неравномерной структуры, острые кромки и резкие переходы в сечении, а так же полые детали с толщиной стенок менее 1 мм.

- Гидростатическое формование применяют для получения крупных заготовок или деталей из тугоплавких металлов (трубы, стержни).
- Прокатку применяют для получения листов, полос, лент.

**Спекание:** При спекании сцепление частиц порошка происходит вследствие взаимной диффузии атомов настолько плотно, что отдельные частицы порошка как бы перестают существовать самостоятельно. **Этим спекание отличается от термообработки!**

В результате спекание физ-хим св-ва детали изменяются и деталь упрочняется, меняются размеры (усадка), меняется микроструктура (рост зерен, форма, число пор)

Спекание производят в водородных или вакуумных печах.

Цикл работы состоит из:

- 1) Загрузка кассет
- 2) Перемещение кассет в печи с заданной скоростью
- 3) Выгрузка

Процесс спекания делится на 3 этапа:

- 1) Нагрев до  $T=100-200\text{ C}$  с целью удаления влаги
- 2) Нагрев от 200 до  $T=50\%$  от температуры плавления металла.  
Для снятия упругих напряжений и активного спекания частиц.
- 3) Окончательный нагрев до температуры спекания.

Это необходимо для восстановления окисных пленок в защитной или нейтральной среде и для полного сцепления частиц. Время выдержки после достижения окончательной температуры спекания составляет 30-80 минут

При спекании металлов с различной температурой плавления применяют метод пропитки пористой заготовки из более тугоплавкого металла жидким металлом с меньшей температурой плавления.

Для улучшения механических св-в применяют повторное прессование и спекание. Процесс формования и спекания можно совместить. В этом случае прессование называют горячим.

Горячее прессование заключается в одновременном прессовании и спекании, что сокращает время спекания в 20-30 раз.

Горячее прессование проводят при более низкой температуре и более низком удельном давлении.

Недостатком является малая стойкость стальных форм.

В мелкосерийном производстве для горячего прессования применяют графитовые формы, которые выдерживают 3-5 прессовок при удельном давлении 150 кг\см<sup>2</sup> и температуре до 1500 С

**Термообработка**- дополнительная термообработка проводится в случае необходимости.

**Калибрование**- точность размеров металлокерамич. Деталей повышается на 2-3 порядка, а шероховатость уменьшается вследствие калибрования в специальных пресс-формах.

Размеры калибровочных пресс-форм отличаются от номинальных размеров деталей на величину упругого последействия, которое составляет 0.11-0.12% После калибрования на поверхность детали можно наносить любое гальванопокрытие.

**Механическая обработка** – для уменьшения шероховатости поверхности заготовку подвергают механ обр-тке. В этом случае целесообразно пропитывать заготовку серой или предварительно вводить серу в шифту.

**Гальванопокрытия** наносятся по желанию.

### Изготовление керамических деталей

Керамика-гончарное дело, общее название всех видов изделий из обожженной глины.

Процесс изготовления деталей из керамики состоит из:

1. Подготовка керамических материалов (приготовление массы)
  - Сортировка материалов
  - Очистка от посторонних включений
  - Помол
  - Дозирование
  - Смешивание по заданной рецептуре.
2. Формование
3. Механ. обр-тка
4. Обжиг
5. Механ. обр-тка
6. Глазурование
7. Нанесение покрытий

1. После сортировки и очистки исходного сырья проводят грубое дробление жерновами. Измельченный материал высыпают в спец. лоток, где его просеивают через металлическое сито и пропускают через магнитный сепаратор, который позволяет очистить от ферромагнитных примесей.

Частицы не прошедшие через сито возвращаются на повторное дробление, затем материал поступает на тонкий помол. Обычно тонкий помол совмещают со смешиванием компонентов. Помол осуществляют в шаровых мельницах с добавлением воды.

### 1.13 Лекция 13

Shlicker-ил, тина ( в состав входит вода)

В барабан, футерованный внутри керамическими плитками, засыпают керамические шары или кремниевую гальку. Вначале размалывают непластичные компоненты, а затем загружают пластичные материалы. Помол длится 15-30 часов. Шликер подвергается магнитной сепарации, пропускается через сито, обезвоживается через филь-пресс и превращается в коржи влажностью 25-30%. Дальнейшая обработка коржей зависит от способа формования деталей.

#### 2. Формование

Осуществляют:

- Прессованием (сухое). Масса для прессования готовится в виде сухого мелкого порошка с добавкой 7-10% парафина. Дозировку обычно проводят по весу. Для прессования используют металлические формы. Этим методом изготавливают небольшие плоские детали с небольшими выступами или углублениями и относительно высокой точностью размеров. Для повышения равномерности распределения массы используют пресс-формы, обеспечивающие передачу давления как сверху так и снизу.
- Штамповкой (пластичное прессование). Керамическая масса готовится также как и для сухого прессования, но в качестве связки применяют помимо парафина смолу или керосин. Штамповку производят на рычажных или винтовых прессах с меньшим чем при сухом прессовании удельным давлением. Массу в штамп загружают с некоторым избытком. Излишки массы удаляются через отверстия в матрице. Точность изготовления невелика вследствие высокого коэф-та усадки. Достоинством штамповки является возможность получения деталей сложной конфигурации и высокая производительность.
- Протяжкой через мундштук. Используют мундштучный пресс, который приводится в действие механич., гидро, либо пневмо способом. В зависимости от формы мундштучного отверстия можно получать трубчатые или стержневые полуфабрикаты. После протягивания полуфабрикаты высушивают и в ряде случаев подвергают механической обработке.
- Горячим литьем Просушенный до удаления влаги размолотый порошок добавляют в связку (парафин, воск, олеиновая к-та). Смесь смешивают в шаровых мельницах при  $T=80-90$  С, затем вакуумируют и разливают на протвину, охлаждают и получают плитку толщиной 40 -50 мм. Перед употреблением плитки разбивают и загружают в форму. После литья отливку извлекают из формы, отрезают литники и удаляют связку при  $T=100-200$  С. Способ имеет высокую производительность
- Другие способы нераспространены

#### 3. Механическая обработка

До обжига: проводится при условии предварительной пропитки детали парафином при  $T=80-100$  С. Если форма детали простая, то механическую обработку можно проводить без пропитки, но заготовки должны быть во влажном состоянии. После обжига в ряде случаев изготавливают отверстия, пазы, канавки; резку производят на спец. станке вольфрамовой проволокой в сочетании с абразивной суспензией или алмазными пилами.

#### 4. Обжиг

Проводят в печах периодического или непрерывного действия. Процесс разбивают на 2 этапа: предварительный-при  $T=800-1000$  С для обеспечения выжигания органических веществ; окончательный-при  $T=1000-1750$  С с целью спекания керамической массы и получения

окончательных размеров и необходимой прочности. Скорость нарастания температуры и время выдержки выбирают экспериментально

## **5. Глазурование проводят для защиты пов-ности от загрязнений.**

### **Изготовление деталей из пластмасс**

Пластмассами называют твердые или упругие материалы, которые получают из полимерных соединений и формуют изделия методами основанными на использовании их пластических деформаций. Пластмассами также называют неметаллические материалы, представляющие собой сложные композиции, состоящие из органических или неорганических веществ.

Связующим веществом пластмасс являются синтетические смолы, которые определяют группу пластмасс и их свойства: механические, физ-хим, электроизоляционные. Помимо связующих веществ в них входят следующие компоненты:

- Наполнители (органич.-древесная мука, бумага; неорганич-графит, асбест)
- Пластификаторы для увеличения пластичности, текучести, гибкости и уменьшения хрупкости (дибутилфталат)
- Смазывающие вещества для увеличения текучести, уменьшения трения между частицами композиции и устранения прилипания материала к пресс-форме.(стеорин)
- Катализаторы-для ускорения процесса затвердения (известь)
- Красители-для придания нужного цвета.

В зависимости от состояния пластмасс в процессе нагрева их подразделяют на термопластичные и термореактивные.

Термопластичные при нагреве приобретают пластичность, а при охлаждении переходят в твердое состояние. При повторном нагреве они сохраняют свои свойства и могут использоваться многократно. Это полиэтилен, полистирол, оргстекло и др. Термореактивные пластмассы приобретают пластичное состояние при нагреве, а при температуре перехода переходят в твердое, необратимое состояние. К термореактивным пластмассам относятся слоистые пластмассы, волокниты и пресс порошки на основе фенолформальдегидной смолы.

Виды пластмасс; в зависимости от входящих компонентов подразделяют на виды:

- 1) Литьевые (термопласты) Обычно состоят только из смолы. Применяют для изготовления изделий литьем под давлением и классифицируют по типу смолы.
- 2) Листовые (термопласты) Состоят из смолы, малого кол-ва пластификатора и стабилизатора (оргстекло)
- 3) Слоистые пластмассы. Состоят из смолы и наполнителей в виде ткани или бумаги. Гетинакс(наполнит-бумага), текстолит(наполнит-х\б ткань), стеклотекстолит( стеклоткань).
- 4) Волокниты (терморреактивные) Состоят из смолы, волокнистых наполнителей (стекловолокно, х\б волокно, минеральных порошков и красителей).
- 5) Пресс-порошки (терморреактивы) Состоят из смолы, наполнителя, пластификатора, катализатора и красителя.

Подготовка пресс-материалов к прессованию.

Технологические свойства пластмасс характеризуются:

- 1) Удельным объемом ( $\text{г/см}^3$ ) и влияет на размеры загрузочной камеры пресс-формы и важен для объемной дозировки.
- 2) Сыпучестью (Способность порошка высыпаться из емкости через отверстия в дне) измеряется временем в секундах, необходимым для опорожнения стандартной конической емкости. Зависит от влажности и угла скоса емкости.

## ВЫВОДЫ

В курсе лекций рассмотрены основные темы курса «Технология производства электронных средств» такие как: виды литья, виды штамповки, отличительные особенности каждого из методов, базовые оснастки для реализации методов, положительные и отрицательные стороны технологических процессов по изготовления деталей тем или иным методом.

Данный конспект лекций составлен на основе лекционного курса, читаемого в МГТУ им. Н.Э. Баумана на кафедре иу4 преподавателем Журавлевой Л. В. Курс лекций рекомендован к выполнению текущих аттестационных мероприятий и подготовки к экзамену по предмету «Технология производства электронных средств».

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Журавлева Л. В. Технология производства электронных средств. – Электронный ресурс. Режим доступа: <http://nanolab.iu4.bmstu.ru/course/view.php?id=30>. - Проверено 10.04.2011.
2. Журавлева Л. В. Технология производства электронных средств. – Лекции по курсу. – МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2011.