

**КОНСПЕКТ ЛЕКЦИЙ**  
по дисциплине  
«Специальные виды литья»  
для студентов специальности 6.050402  
дневной и заочной формы обучения

Утверждено  
на заседании кафедры ТОЛП  
протокол № \_\_\_\_ от \_\_\_\_ 2012 г.

Краматорск, 2012

## **Раздел 1 – Литье в специальные разовые формы**

### **Тема 1 - Введение. Классификация специальных способов литья. Перспективы развития специальных способов.**

В пр-ве литых заготовок для деталей машин и приборов значительное место занимают специальные способы литья:

- по выплавляемым моделям;
- в керамические формы;
- в кокиль;
- под давлением;
- центробежное литьё;
- ЭШЛ (электрошлаковое литьё) и др.;

Позволяющие получить отливки повышенной точности, с чистой поверхностью, минимальными припусками на обработку, а иногда исключают её, с высокими служебными свойствами.

Известный способ изготовления отливок в песчано-глинистые формы, в которых получают около 80% общего кол-ва отливок, имеет сл. достоинства:

1. Сравнительная простота и дешевизна изготовления.
2. Возможность получения деталей различной конфигурации габаритов и массы с заданными свойствами.
3. Возможность полной механизации и автоматизации трудоёмких процессов.

Обладает недостатками:

1. Точность размеров и чистоты поверхности отливок ниже современных требований.
2. Не всегда удается получить литую деталь особой сложности, min размеров и заданного качества.

Поэтому основными направлениями в развитии Л.П. является:

1. Повышение размерной точности отливок
2. Улучшение чистоты поверхности
3. Повышение прочностных характеристик литейных сплавов.

Т.о. процессы получения отливок специальными способами в сравнении с литьём в песчаные формы отличаются возможностью получать отливки с высокой точностью и чистотой поверхности, min припусками на мех. обработку. Спец. виды литья позволяют получать отливки из трудно или вообще необрабатываемых сплавов.

Технологический процесс изготовления отливок спецвидами достаточно полно механизирован и автоматизирован, улучшает качество отливок и , значительно улучшаются санитарно-гигиенические условия труда.

Знание и учёт особенностей формирования отливки в той или иной форме позволяет управлять литейными процессами, обосновано выбрать данный метод литья, определять меры по успешному его осуществлению.

## **Классификация спецвидов литья .**

1. По методу изготовления литейной формы:
  - литьё по выплавляемым и пенополистероловым моделям;
  - литьё в керамические, гипсовые, цементные, каменные формы.
2. По методу заполнения металлом формы:
  - литьё под давлением, выжиманием, центробежное литьё, литьё под низким давлением.
3. По характеру охлаждения отливки.
  - литьё в металлические формы;
  - непрерывное и полунепрерывное литьё.
4. Плазменный способ получения литья.

Прототипом современного литья по выплавляемым моделям является метод с применением восковых моделей известный со времен глубокой древности.

Имеются сведения о том, что этот метод начал применение более 4-х тысяч лет назад в Египте и Китае.

Скифы 2,5 тысячи летий назад (Приднепровье и Приазовье) владели этим методом для изготовления украшений.

В России по восковым моделям были изготовлены монументальные отливки: - памятник Петру I ("Медный всадник"; Фальконэ 1782 год ), памятник Минину и Пожарскому, 1817 год – русский литейщик В.П.Екимов, скульптурные группы "Укротители коней", Клодт 1850 год.

\

## **Тема 2 - Литье по выплавляемым моделям (ЛВМ).**

### **Сущность ЛВМ**

В специальных легко разбираемых пресс-формах изготавливают легкоплавкие модели литой детали и элементов литниковых систем. Модели и элементы лит. систем собирают в блоки, на которые в несколько слоев (3-12) наносится жидкая формовочная смесь или обмазка, состоящая из пылевидного огнеупорного материала и связующего.

Каждый слой обсыпается песком и сушится. Обмазка наносится для упрочнения слоев и лучшей взаимосвязи. Затем модель выплавляется и получается тонкая керамическая оболочка. Оболочку устанавливают в неразъемную опоку и засыпают песком или другим наполнителем с целью предохранения ее от разрушений при заливке металлом. Далее форма прокаливается при 950-1000° С. Металл заливается сразу же после прокалики, т.е. в горячую форму. Затем следуют операции охлаждения залитых форм, выбивки отливок из оболочки, очистки литья и т. д.

### **Характерные особенности ЛВМ.**

1.Использование разовой модели. Для каждой отливки необходима своя модель, которая после изготовления формы перестает существовать (выплавляется)

2.Модель не имеет разъема и знаковых частей, ее контуры повторяют форму отливки.

3.Формовочная смесь жидкая огнеупорная суспензия и твердая составляющая – сухой кварцевый песок.

4.Керамическая оболочка со стенками толщиной 1,5-10 мм не имеет разъема.

5.Высокая точность размеров отливок и ее малая шероховатость поверхности.

6.Металл чаще всего заливается в формы, нагретые до 900°С, поэтому создаются благоприятные условия для заполнения форм и питания отливок (толщина стенок 0,8-2 мм).

### **Возможности ЛВМ**

Перечисленные особенности техпроцесса ЛВМ позволяют получить отливки

1. с размерами по 13 –14 качеству (ГОСТ СЭВ 167-75), что соответствует 4-5 классу точности по ОСТ 1024-1026 (Литейный от 7 качества до 17),

2.и шероховатостью поверхности по 7-8 му классу (СЭВ 638-75),

3.масса от нескольких граммов до 100 кг.



4. Отл. м. б из различных сплавов и сплавов с особыми свойствами на основе Ni, Ti, Mo, Co, а также медных и алюминиевых сплавов.

По ЛВМ изготавливают отливки почти любой конфигурации

### **Порядок разработки и осуществления техпроцесса.**

1. Разработка технологии отливки (есть чертёж детали с нанесением всех требований).

2. Разработка конструкции пресс-формы.

3. Выбор и подготовка модельных мат-лов.

4. Изготовление выплавляемых моделей.

5. Изготовление литейной формы- керамической оболочки.

6. Формовка, заливка, охлаждение и выбивка.

7. Очистка, отрезка литников, термообработка, повторная очистка.

8. Контроль качества.

### **Пресс-формы**

Пресс-форма- это инструмент для изготовления модели чаще всего состоящая из двух частей с вертикальным, горизонтальным или комбинированным разъёмом. Плоскость разъёма и число разъёмов выбирают из условий быстрого и удобного извлечения моделей.

### **Требования к пресс-формам**

1. Внутренняя полость пресс-формы должна обеспечить требуемую точность размеров и чистоту поверхности получаемых в них моделей.

Чем меньше разъёмов имеет пресс-форма, тем выше точность моделей. По этому всегда стремятся делать min число разъёмов.

2. Конструкция пресс-форм должна быть такой, чтобы модель можно было легко и быстро, без деформаций и повреждений извлечь из рабочей полости.

3. Пресс-форма должна быть прочной, обеспечивать удобство сборки, а для удаления воздуха из полости пресс-формы при заполнении её модельным составом- иметь вентиляционную систему.

В пресс-форме предусматривается л. с. Точная фиксация половин пресс-форм при сборке обеспечивается направляющими штырями.

Открывание и запираение пресс-форм осуществляются ручными, механическими и пневматическими механизмами.

Модели из рабочей полости удаляются специальными толкателями.

Рабочая полость для крупных моделей охлаждается водой, протекающей по каналам в стенках пресс-формы.

По конструкции и методам изготовления обычно различают пресс-формы для единичного и мелкосерийного, серийного и массового производства.

## Расчёт размеров рабочей полости пресс-формы.

Конструирование пресс-форм начинают с разработки чертежа отливки с учётом,

- усадки металла;
- усадки модельного материала,
- допусков и припусков на мехобработку,
- возможного расширения керамической формы при прокаливании её при  $t=950-1000^{\circ}\text{C}$ .

Размеры рабочей полости рекомендуется определять по следующим формулам

а) для наружных размеров отливки

$$D_n = D_0 + D_0 \frac{y_{\text{общ}}}{100} - 0,5\delta_0 =$$

$$D_0 \left(1 + \frac{y_{\text{общ}}}{100}\right) - 0,5\delta_0$$

б) для внутренних размеров отливки

$$D_n = D_0 + D_0 \frac{y_{\text{общ}}}{100} + 0,5\delta_0 =$$

$$D_0 \left(1 + \frac{y_{\text{общ}}}{100}\right) + 0,5\delta_0$$

где  $D_n$  – номинальный размер рабочей полости пресс-формы в мм

$D_0$  – номинальный размер отливки по чертежу, мм

$\delta_0$  – допуск на размер отливки в мм ;

$y_{\text{общ}}$  – общая линейная усадка в %;

практика показала, что суммарная литейная усадка колеблется в очень широких пределах от 0,3 до 3,0 % для стальных отливок.

Рабочая полость пресс-форм изготавливается с точностью размеров на 1-2 кл. выше требуемой точности размеров отливок.

Шероховатость пов-ти рабочей полости пресс-формы д. б. > 8-го класса частоты, т. к. более высокая частота пов-ти удорожает стоимость изготовления пресс-формы, не улучшая практически качество отливок.

Существует 3 способа изготовления пресс-форм:

1. Механической обработкой.
2. Литьем.
3. Комбинированный способ.

Пресс-формы изготовленные полностью механообработкой обходится в несколько раз дороже, чем литые. Зато они обеспечивают высокую точность и чистоту поверхности. Поэтому этот способ оправдан при массовом производстве отливок с повышенными требованиями по чистоте и точности.

Наиболее распространен комбинированный способ.

Материалом пресс-формы служат :

- углеродистая сталь или силумин.

Рабочие поверхности стальных пресс-форм полируют или никелируют.

### **Типовая конструкция пресс-формы.**

Кроме перечисленных элементов пресс-формы в её конструкцию входят различные крепежные детали, направляющие, штифты, втулки и т.д.

Матрицы и вставки, оформляющие рабочие полости изготавливают из стали 35, стали 45, стали 40Х; стержни, выталкиватели, литниковые втулки- из стали У8А; плиты выталкивателей, стойки, основания – из стали 35.

### **Технология изготовления моделей.**

Тех. процесс изготовления выплавляемых моделей состоит из следующих операций:

- 1) Подбор материалов в соответствии с требованиями ЛВМ.
- 2) Подготовка выбранных материалов и приготовление мод-го состава.
- 3) Подготовка пресс-форм и изготовление модели.
- 4) Изготовление моделей отливок и элементов ЛПС.
- 5) Оценка поверхности моделей и контроль их качества.
- 6) Хранение моделей.
- 7) Сборка моделей в блоки.

### **Модельные составы и требования к ним.**

1) В расплавленном состоянии модельный состав должен обладать хорошей жидкотекучестью. Температура плавления должна быть невысокой 60...100° С, в тоже время температура его размягчения должна быть не ниже 35..40°С, т. е на 10...15°С выше температуры помещения, где производится изготовление моделей и их хранение.

- 2) Обладать стабильной и минимальной усадкой при охлаждении.
- 3) Быть химически инертными к материалу пресс-формы и материалу огнеупорной оболочки.
- 4) Иметь хорошую смачиваемость огнеупорной суспензией или обмазкой.
- 5) Иметь высокую прочность и твердость после затвердевания.
- 6) Модельный состав д. б. пригоден для многократного повторного использования.
- 7) Модельный состав должен быть безвредный для здоровья работающих.

Для изготовления моделей применяют многокомпонентные составы. Из большого числа модельных составов можно выделить следующие:

- 1) Легкоплавкие на основе воскообразных веществ;
- 2) Тугоплавких на основе пластмасс;

### 3) Растворимые.

Для производства моделей мелких отливок средней сложности широкое распространение получили легкоплавкие составы состоящие чаще всего из парафина и стеарина.

**1. Парафин** - продукт возгонки нефти, бурого угля или горючих сланцев (белая масса с кристаллической структурой). Дешевый и недефицитный материал, придаёт моделям пластичность.

Недостаток: низкая (25...28° С) температура размягчения.

**2. Стеарин** – продукт переработки растительных и животных жиров; смесь жирных кислот, стеарин повышает температуру размягчения моделей. Дорогой и дефицитный материал, склонен к взаимодействию с обмазкой, в результате чего он омыляется.

Чаще всего применяются двухкомпонентные составы типа ПС 50- 50, реже ПС 70- 30 ПС – парафиностеариновая смесь. Составы ПС хорошо смачиваются суспензией на этилсиликате, имеют невысокую температуру плавления (50...55°С). Возврат модельного состава 90...98 %.

Недостатки ПС является большая и нестабильная усадка, низкая температура размягчения. Для улучшения качества модельного состава и уменьшения усадки в модельные составы вводят различные добавки :

**1. Буроугольный воск** – продукт переработки бурого угля, является смесью воска, смолы и асфальтоподобных веществ. Масса темно-бурого цвета,  $t_{пл} = 90^{\circ}\text{C}$ . Обладает высокой прочностью и твердостью, значительной хрупкостью и повышенной вязкостью в расплавленном состоянии.

**2. Церезин** – смесь твердых высокомолекулярных углеводородов метанового ряда. Обладает повышенной пластичностью и теплостойкостью. Недостаток – значительная линейная усадка, низкая прочность и твердость.

**3. Канифоль** - твердая часть смоляных веществ хвойных деревьев. Хрупкий, стекловидный, желтого или коричневого цвета. Вводят также полистирол, дубовый остаток, торфяной воск, этилцеллюлозу и др. материалы .

По этим добавкам разработаны композиции модельных составов.

материал	ПС 50 - 50	ПСБ50 -30- 70	ПЦТ70- 10-20	Р-3
Парафин	50	50	70	60
Стеарин	50	30	-	-
Буроуг.	-	20	-	12
воск				
Церезин	-	-	10	22
Торфяной	-	-	20	-
воск				
Кубовый	-	-	-	6
остаток				

Р – 3 Наиболее распространен в последнее время ( нет стеарина, а остальные материалы недорогие и доступны ).

Недостаток Р –3 - большая усадка .Разработан новый материал РМ (в 5-7 раз) обладает меньшей усадкой, чем Р-3.

50% Р- 3 +43% карбамид + 7% канифоль .

Поверхность модели гладкая и блестящая .

Карбамид–техническая мочевина, производится как удобрение. Производится для изготовления растворяемых моделей для особо тонких и сложных моделей.

### **Изготовление моделей.**

#### **1.Приготовление модельного состава**

Этот процесс состоит из смешивания исходных компонентов и расплавления их, для чего применяется любой теплоноситель кроме открытого огня.

Исходные материалы измельчают до кусков 30-50 мм для ускорения процесса расплавления.

В индивидуальном производстве мод. массы получают расплавлением компонентов в эл. ваннах, водяных банях, и т. д, можно в глицериновых банях.

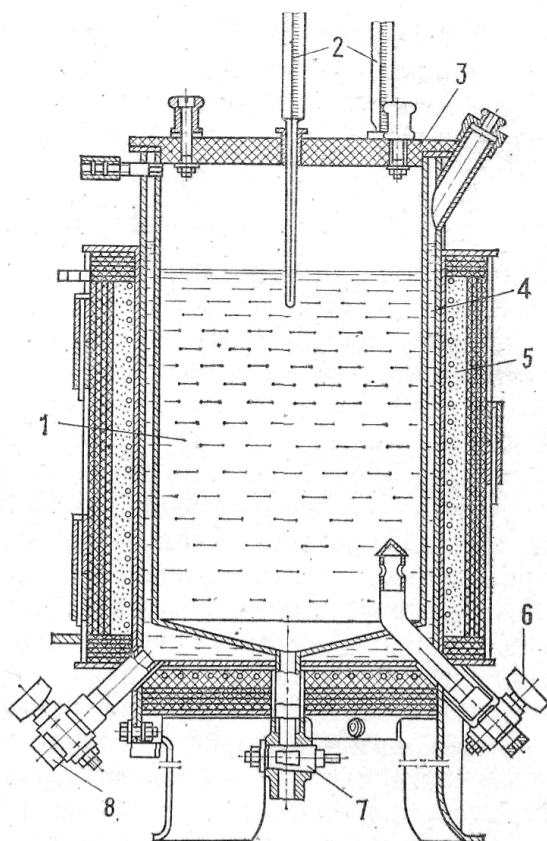
В серийном и массовом пр-ве прим. различные устройства . В них выполняются след. операции:

1. Расплавление и отделение посторонних включений из возврата

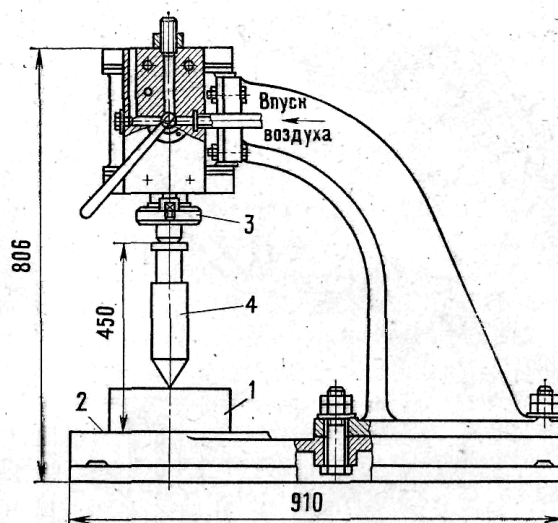
2. Расплавление свежих составляющих и приготовление пастообразной массы необходимой температуры.

#### **Приготовление модельного состава.**

Технология приготовления модельного состава зависит от применяемых для него материалов, объема производства отливок и степени его механизации. Парафино-стеариновые модельные составы готовят в водяных электрованнах или термостатах. Рабочий бак 1 такой ванны помещают в резервуар 4, заполненный водой. Дно и боковая поверхность резервуара обогреваются электрической нихромовой спиралью 5. В дно рабочего бака вмонтирован обогреваемый кран 6, предназначенный для выпуска готового модельного состава, кран 7 для спуска загрязненного состава и кран 8 для слива обогревающей бак воды. Температура модельного состава и обогреваемой воды контролируется термометрами 2, установленными в крышке 3 ванны.



Процесс приготовления модельного состава состоит в следующем. Очищенные от механических загрязнений куски парафина, стеарина и возврата размером 100x100x100 мм в определенных соотношениях (по массе) закладывают в рабочий бак электрованны и расплавляют. При температуре 80—86°C состав выдерживают 5—10 мин для осаждения попавших загрязнений. После отстоя расплав фильтруется и переливается в мешалку. Здесь модельный состав охлаждается до пастообразного состояния (до 42...45°C) и для уменьшения усадки насыщается воздухом. Готовый состав подается для запрессовки моделей.



1 – пресс-форма; 2 – стол пресса; 3 – шток поршня; 4 – шприц  
Пневматический пресс для изготовления моделей

## **Изготовление моделей**

Процесс изготовления моделей состоит из:

1. Подготовки пресс-форма (очистка, смазка рабочей полости тонким слоем эмульсии или чистого трансформаторного масла )
2. Заполнения рабочей полости пресс-формы модельным составом.
3. Выдержка для затвердевания моделей.
4. Разборка пресс-формы и извлечение моделей.
5. Выдержка модели до окончания усадки.
6. Зачистка заусенцев и контроль качества моделей.
7. Сборка моделей в блоки.

## **Способы заполнения прессформ модельным составом.**

1. Способ свободной заливки.

Модельный состав используют в жидком состоянии при  $t_{\text{ре}} 70-80^{\circ}\text{C}$ .

Применяется редко (из-за повышенной усадки) для изготовления крупных и сложных моделей в единичном и серийном пр-ве. Способ прост в исполнении.

2. **Заливка под давлением.** Используется также жидкий мод. материал. Давление на него осуществляется поршнем или сжатым воздухом. Давление на модельный материал удерживается до полного затвердевания. Этот способ позволяет получать точные модели без усадочных раковин.

3. **Запрессовка.** Мод. составы используются в пастообразном состоянии ( $t_{\text{ра}} 45-50^{\circ}\text{C}$ ) . осуществляется ручными и автоматическими шприцами или прессовыми установками.

Автоматические шприцы производятся на карусельных десятипозиционных автоматах.

## **Охлаждение моделей**

При охлаждении моделей их размеры изменяются из-за усадки. Из-за низкой теплопроводности мод. составов охлаждение длится 1-5 час. Для ускорения процесса необходимо принудительное охлаждение в проточной воде или обдувание сжатым воздухом.

## **Хранение моделей**

Модели хранят при температуре, исключающей их размягчение. Для избегания коробления под собственным весом необходимы специальные опоры или подставки.

## **Отделка и контроль качества моделей.**

Заусенцы на моделях зачищают вручную с помощью спец. ножей. Следы смазки пресс-формы, влаги и других применяемых посторонних частиц удаляют сжатым воздухом.

Контроль качества определяется визуально.

Периодическую деформацию и размерную точность определяют в лабораториях спец. измер. приборами (калибрами, линейками, шаблонами и др.)

### **Сборка моделей в блоки.**

Блоком моделей называют модели отливок, соединяемых в одно целое с моделью Л.С. (питатели, сто....)

Блоки моделей собирают пайкой, склеиванием или механическим скреплением.

**Пайку** применяют в единичном и серийном производстве. Для этого используют эл. паяльники с плоским широким жалом (в форме лезвия ножа).

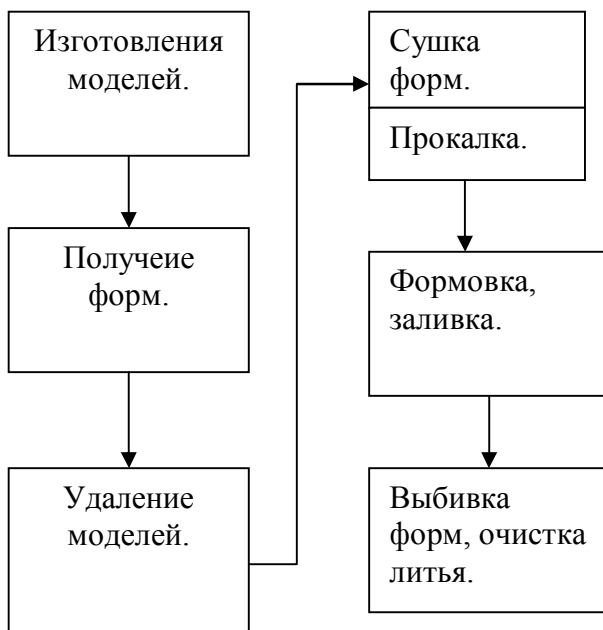
В крупносер. и в массовом пр-ве сборку моделей производят механич. скреплением. Звенья моделей изгот. в многоступенчатых прессформах. Звено состоит из моделей отливок, питателей и центрального кольца (секции модели стояка). Секции моделей нанизывают на спец. стояк-каркас и закрепляют их на нем.

**Сборку склеиванием** применяют редко, в основном для моделей из пенополистирола в единичном производстве отливок.

### **Изготовление керамических оболочковых форм.**

В общем 70%-литья по выплавляемым моделям из всех спец. видов литья.

Схема процесса изготовления литья по выплавляемым моделям



В связи с тем, что оболочка явл-ся основой получения отливок при ЛВМ к ней предъявляются сл. Требования :

- 1.Суспензия д. обладать повышенной смачиваемостью к модели.
- 2.Облдать достаточно высокой прочностью.
- 3.Выдерживать динамич. и статис. напоры расплава.
4. Не деформироваться при заливке, затвердевании и охлаждении отливки.
- 5.Быть огнеупорной при прокаливании.



6. Иметь газопроницаемые станки, чтобы в форме не возникло противодавление газов, что может привести к недоливам.
7. Быть химически инертными к модельному составу и металлу отливки.
8. Иметь достаточную податливость, чтобы не препятствовать усадке сплава.
9. Обеспечивать получение отливок высокой точности, требуемой шероховатости поверхности, массы и геометрии.

### **Конструкция формы.**

Оболочковая форма состоит из нескольких слоев. Первый слой наносится непосредственно на блок моделей – **облицовочный слой**.

Облицовочный слой, как и последующий получают окунанием модельного блока в специально приготовленную суспензию.

Суспензия состоит из связующего и наполнителя. Каждый слой, полученный окунанием увеличивает присыпкой сухого песка или другим огнеупорным материалом. Суспензия для I<sup>го</sup> слоя должна обладать след. свойствами: хорошо покрывать модель и не вступать в реакцию с материалом модели, прочно соединяться с последующими слоями и присыпкой.

Количество слоев зависит от массы отливки и может составлять 4-10 слоёв. Каждый слой перед нанесением последующего предварительно просушивается в течении 2-4 часов,  $t_{\text{суш.}} = 18-20^{\circ}\text{C}$ .

Предварительно подсушка необходима, т. к. свежее нанесённая оболочка практически не обладает прочностью. Она удерживается только благодаря действию или смачивания. Упрочнение оболочки происходит как в процессе естественной сушки, так и в процессе химического твердения.

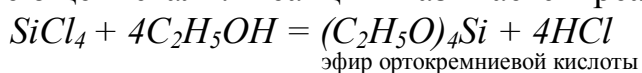
### **Формовочные материалы и их подготовка**

**Связующие растворы** для керамических форм изготавливают на основе этилсиликата, ж. стекла или их разновидностей.

**Этилсиликат** – это смесь этиловых эфиров ортокремневой кислоты – жидкость, слегка окрашенная в желтый (или бурый) цвет с характерным запахом эфира плотностью  $980-1050 \text{ кг/м}^3$  и  $t_{\text{кип.}} \approx 165,5^{\circ}\text{C}$ . На практике чаще всего используют ЭТС – 40. Цифра указывает среднее содержание  $\text{SiO}_2$  в этилсиликате (ЭТС-32).

Этилсиликат не является связующим, а становится им только после гидролиза.

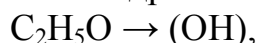
Получают этилсиликат следующим образом. Сначала получают  $\text{SiCl}_4$  и путём продувки хлора над  $\text{FeSi}$ . Полученный продукт соединяют с этиловым спиртом при непрерывном их смещении в реакторах из нержавеющей стали. Реакция называется реакцией этилофикации  $\text{SiCl}_4$ :



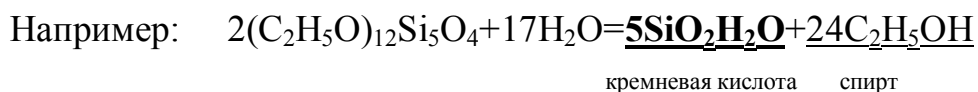
В состоянии поставки ЭТС представляет собой смесь эфиров с различной молекулярной массой.

№/№	Наименование и химическая формула	Содер. SiO <sub>2</sub> , %
1	Моноэфир (C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> O) <sub>4</sub> Si	28,8
2	Диэфир (C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> O) <sub>6</sub> SiO <sub>2</sub>	35,1
3	Триэфир (C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> O) <sub>8</sub> Si <sub>3</sub> O <sub>2</sub>	37,8
4	Тетраэфир (C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> O) <sub>10</sub> Si <sub>4</sub> O <sub>3</sub>	35,3
5	Пентаэфир (C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> O) <sub>12</sub> Si <sub>5</sub> O <sub>4</sub>	40,3
6	Гектаэфир (C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> O) <sub>14</sub> Si <sub>6</sub> O <sub>5</sub>	42,0

Для получения связующего раствора этилсиликат (ЭТС) подвергают гидролизу (добавляют в воду), при котором этоксильные группы C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>O замещаются гидроксильными группами OH,



а линейное строение молекул ЭТС превращается в разветвленное и частично сшитое в результате поликонденсации. По мере такого замещения образуются такие продукты гидролиза (гидролизаты), которые больше напоминают кремниевую кислоту, образующую коллоидный раствор – золь окиси кремния.



Кремниевая кислота неустойчивая – золь окиси кремния.

Гидролиз этилсиликата проводят раствором воды в спирте, ацетоне, поскольку этилсиликат не растворяется в воде, а реакция гидролиза этилсиликата в воде может идти только на поверхности их раздела.

Скорость реакции гидролиза невелика, поэтому для ускорения гидролиза вводится 0,2-0,3% HCl на 1кг ЭТС и р-р непрерывно перемешивают. Сама реакция экзотермическая ( выделяется тепло), поэтому сосуды и аппараты гидролиза – гидролизеры охлаждают проточной водой.

Вводимые в р-цию гидролиза ацетон (спирт) и вода при сушке и прокаливании оболочек испаряются, а SiO<sub>2</sub> (коллоидный р-р ) из неустойчивого состояния – золя переходит в устойчивое – гель. Гель цементирует зерна основы и обеспечивает слоям оболочки прочность.

Для расчета количества растворителя и H<sub>2</sub>O, необходимых для реакций гидролиза ЭТС разработаны номограммы.

Преимущество оболочек на ЭТС:

- оболочки на ЭТС имеют высокую прочность и дают хорошее качество поверхности литья.

Недостатки процесса литья на ЭТС:

- применение дефицитных дорогостоящих материалов, а также длительность процесса (от 2 до 48 часов);
- повышенная склонность оболочки к трещинам – особенно с увеличением габаритов оболочек.

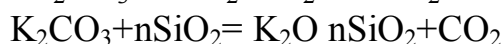
*Новая технология изготовления оболочковых форм – на жидком стекле.*

Приоритет в создании новой технологии изготовления оболочек с применением в качестве связующего недорого и доступного связующего материала - жидкого стекла принадлежит советскому исследователю – инженеру Першину П.С. В мировой практике эта технология впервые внедрена на Уралмашзаводе в 1951 году.

В настоящее время он находит все более широкое распространение.

### **Жидкое стекло.**

Получают путем сплавления соды с кремнеземом:



Происходит образование силиката Na или K в виде твердой прозрачной силикат – глыбы. Она растворяется в горячей воде и образуется жидкое стекло. Соответственно, ЖС может быть натриевым или калиевым. Практикой установлено, что лучшим является натриевое стекло:



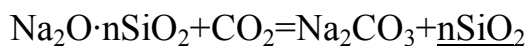
ЖС характеризуется следующими параметрами: хим. составом, модулем и уд. весом.

Под модулем понимается отношение числа грамм-молекул кремнезема к числу грамм-малекул окиси Na.

$$\text{Модуль опр-ся по ф-ле: } M = \frac{\% \text{SiO}_2}{\% \text{Na}_2\text{O}} * 1.032,$$

где 1,032 – отношение молекулярной массы окиси Na к молекулярной массе кремнезема.

Техническое жидкое стекло представляет собой вязкую сиропообразную жидкость желтоватого или зеленоватого цвета. Хранят в закрытой таре, т.к. взаимодействует с CO<sub>2</sub> воздуха: *(на слайде нет)*



Коллоидн. р-р кремнезема

Опускаясь на дно кол.р-р образует студенистый осадок и такое стекло для целей огнеупорного покрытия становится непригодным.

Чем выше модуль, тем лучше ЖС и тем оно более пригодно для изготовления оболочек т.к. приобретает склонность к более быстрому твердению.

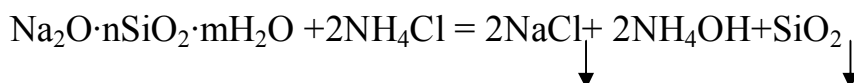
Промышленность поставляет ж. стекло

$$\delta = 1410 - 1470 \text{ кг/м}^3 \quad \text{и} \quad M = 2,7 - 3,0$$

Для придания стеклу постоянных свойств подвергают предварительной подготовке:

1. Разводят водой до  $\delta = 1400 \text{ кг/м}^3$

2. К разведенному ЖС добавляют 5-8% водный раствор  $\text{NH}_4\text{Cl}$  (хлористого аммония) из расчета 30 г  $\text{NH}_4\text{Cl}$  на 100г ж. стекла.



При этом выпадает творожистая масса смеси  $\text{SiO}_2$  и  $\text{NaCl}$  (до  $\frac{1}{3}$  объема)

Эта масса под влиянием остаточной щелочи  $\text{NH}_4\text{OH}$  в стекла через 4-8 часов полностью растворяется. Стекло готово к употреблению  $M = 3,0 - 3,5$   $\delta = 1290 - 1300 \text{ кг/м}^3$ .

В подготовленном ЖС соотношение компонентов стабилизируется:

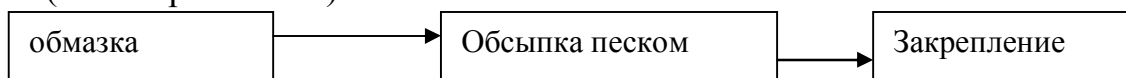
$$\% \text{SiO}_2 = 21 \dots 23 \%$$

$$\% \text{Na}_2\text{O} = 7,0 \dots 7,5 \%$$

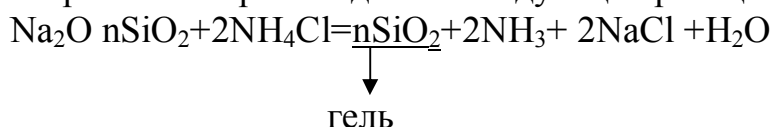
Приготовленное т.о. ЖС совместно с пылевидным кварцем ( 50%+50%) является огнеупорной обмазкой.

Особенности процесса получения огнеупорной оболочки на ЖС связующем.

После окунания блока модели в обмазку на ж. стекле и обсыпкой песком блок немедленно погружают в 18-20 % -ный водный р-р хлористого аммония  $\text{NH}_4\text{Cl}$  под действием которого оболочка твердеет через 2...3 минуты (т.е. закрепляется).



Закрепление происходит по следующей реакции



В результате реакции мгновенно образуется коллоидный раствор кремнезема (гель кремниевой кислоты), который монолитно и прочно связывает зерна маршалита и присыпочногo песка (это так называемый "мокрый" способ закрепления). Аналогично выше описанному способу на ЭТС - связующем, наносим 4-6 слоев оболочки. Время выдержки

(закрепления) каждого слоя составляет 6-8 минут, против 2-4 часов на ЭТС-связующих.

На нашей кафедре усовершенствован способ изготовления ЖС оболочек путем совмещения операции обсыпки песком в смеси с  $\text{NH}_4\text{Cl}$  в "сухом" порошкообразном виде. Зерна песка предварительно перед обсыпкой плакируют 3-3,5%  $\text{NH}_4\text{Cl}$  от массы песка и такой смесью обсыпают модель после окунания ее в обмазку. Такой способ назван "сухим" способом закрепления слоев оболочки. Этот способ выгодно отличается от "мокрого":

- 1) сокращается операция закрепления в водном растворе  $\text{NH}_4\text{Cl}$ .
- 2) в 10-15 раз снижается расход  $\text{NH}_4\text{Cl}$ .
- 3) повышаются санитарно гигиенические нормы труда.
- 4) повышается качество оболочки.
- 5) высвобождается дополнительная оснастка.

### **Контроль вязкости суспензии .**

Определяется при помощи вискозиметра и строго тарированной емкости, по времени истечения суспензии из сосуда: первый слой - более густой, время истечения 35-45 секунд. Второй и последующие слои 25-30 секунд.

### **Наполнители.**

Пылевидный кварц помучают размолот плавленного кварца или кварцевого песка, фракция 0,05 мм (самое мелкое сито).

**Физико-химический состав кварца молотого пылевидного**

Марка ГОСТ 9077-82	Показатели, %							
	$\text{SiO}_2$	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	$\text{Al}_2\text{O}_3$	Fe	CaO	Потери при прока- ливании	Влажность	Просев 005
<b>А</b>	99,5	0,05	0,5	0,05	0,05	0,1	0,2	88,0
<b>А (фракция 2-3 мкм)</b>	99,0	0,05	0,5	0,05	0,05	0,1	0,2	99,5
<b>Б</b>	98,5	0,15	1,0	0,25	0,15	0,15	0,5	84,0

Прим. циркон в виде муки, корунд также в виде муки.

В качестве обсыпного материала применяется кварц. песок марок К-016, лучше обогащенные ( с малым содержанием глины ), цирконовые пески мелкие и др. огнеуп. наполнители (шамот, корунд).

### **Приготовление суспензий и контроль её качества (ВЗ –4)**

Лучшее связующее – этилсиликат, который прим-ся для наиболее ответ. деталей. В остальных случаях применяются более дешёвые связующие – жидкое стекло. Для перемешивания связующих и наполнителей применяются разного рода смесители: лопастные, поршневые, шестерёнчатые и др.

Жидкая суспензия хорошо заполняет мелкие элементы поверхности модели (пазы, отверстия и др.), хорошо стекает (уменьшается расход суспензии, увеличивается прочность оболочек, уменьшается склонность к растрескиванию). Следует учитывать факт того, что при первичной обсыпке модели песком нарушается чистота поверхности деталей, поэтому, для I<sup>го</sup> слоя применяется суспензия с повышенной густотой и вязкостью.

Примерный состав суспензии:

- 1) ЭТС гидролизированный – 45-50, масс. %
- 2) остальное пылевидный кварц, масс. %

**Нанесение огнеупорного покрытия на модели.**

I слой можно наносить не менее чем через 2<sup>а</sup> часа после изготовления модели. За это время заканчивается усадка модели. Для лучшей смачиваемости модели суспензией в суспензию вводят поверх. актив. вещества (мыло, мылонафт, ДС-РАС). Суспензия наносится окунанием или обливанием блока моделей, наиболее распространено окунание.

Обсыпка песком производится для предупреждения стекания огнеупорного слоя, т.е. для повышения прочности и увеличения толщины слоя. Обсыпку производят: вручную, в кипящем слое песка.

Если в качестве связующего применяется жидкое стекло, то после обсыпки песком модель окунают в закрепитель ("мокрый" способ закрепления) или может применяться "сухой" способ.

После сушки I слоя наносится II и т. д.

Всего м.б. от 3 до 10 и более слоев (в зависимости от массы детали).

На этом заканчивается изготовление формы.

Естественная сушка каждого слоя на ЭТС 3 - 4 часа, на Ж.С. 7-10 мин.

### **Выплавление моделей**

В зависимости от материала модели применяются различные методы их удаления:

- 1) горячей водой;
- 2) паром;
- 3) горячим воздухом;
- 4) расплавл. модельной массой и др.

Наиболее распространен I способ.

Модельная масса всплывает и удаляется в горячей воде за 15-20 мин.

В горячем воздухе и паре несколько быстрее. После выплавления в воде блоки отправляются на сушку. Сушат в спец. камере при  $t=80-100^{\circ}\text{C}$

## **Формовка, прокалка оболочек, заливка форм, выбивка и очистка литья.**

После подсушки огнеупорные оболочки поступают в отделение прокалки и формовки. Прокалку производят с целью удаления остатков модельной массы и повышения прочности получившейся оболочки при температуре  $\approx 900^{\circ}\text{C}$  от 8 до 24 часов (на ЭТС связующем), а также для удаления влаги на жидкостекольном связующем ( $t \approx 800^{\circ}\text{C}$ ).

Охлаждать резко оболочки нельзя (только вместе с печью).

После получения готовой оболочки, они заформовываются засыпкой сухим кварцевым песком (наполнитель). Имеются и др. наполнители шамот, бой керамики.

### **1 способ**

Формуют оболочку в специальной неразъемной опоке – контейнере, в которую предварительно насыпают на дно 80 – 100 мм опорного наполнителя и устанавливают оболочку. На литниковую воронку устанавливают защитную крышку и полностью заполняют опоку опорным наполнителем. Для равномерности засыпки применяют или вибрацию или "кипящий" слой песка, после этого удаляют крышку и передают опоку в отжигательную печь. После прокалки оболочек в печи совместно с опокой, сразу же производится заливка жидким металлом. Данный вариант применяется для изготовления особо сложных и тонкостенных отливок, когда требуется повышенная жидкотекучесть сплава.

### **2 способ**

Для несложного литья большой массы и габаритов огнеупорные оболочки калят без опорного наполнителя. Оболочки устанавливают на поддон, который подают в проходную обжигательную печь. После выхода из печи оболочки охлаждают на воздухе, а затем формуют аналогично и подают под заливку.

Режимы прокалки:

А) без опорного наполнителя

1. нагрев до  $T=500 - 600^{\circ}\text{C}$  в течение 30 мин.
2. нагрев до  $T=900 - 950^{\circ}\text{C}$  – в течение 1 часа.
3. охлаждение до  $T=400 - 450^{\circ}\text{C}$  - 30 мин.
4. формовка, заливка.

Б) совместно с наполнителем:

1. Нагрев со скоростью  $150^{\circ}/\text{ч}$  для равномерного прогрева наполнителя и оболочке во избежание термического напряжения до  $950 - 1000^{\circ}\text{C}$ .
2. Выдержка при этой  $t$ -ре 1 – 2 часа.
3. Заливка.

Общее время прокаливании с наполнителем 6-8 ч.

В) Могут также в качестве наполнителя применяться жидкие самотвердеющие смеси (в этом случае оболочковые формы изготавливать не нужно, формуются блоки из выплавляемых моделей. Формы с жидким

наполнителем загружают в печь при  $T=200^{\circ}\text{C}$  с целью испарения воды из наполнителя и выплавления моделей. Затем нагрев до  $900^{\circ}\text{C}$  со скоростью  $100^{\circ}/\text{ч}$ . Выдержка 4- 6 ч. общий цикл прокалики 19 – 20 ч. За счет сушки жидкого наполнителя форма становится прочной. Но процесс дорог и трудоемок. Применяют для тонкостенных отливок типа турбинных лопаток.

### **Контроль огнеупорных оболочек**

Наиболее важные св-ва огнеупорных оболочек прочность и газопроницаемость. Для испытания на прочность используют образцы размером  $20*40*3$  мм. В прокаленном и сыром состоянии. Испытывают на любой разрывной машине, снабженной приспособлением для изгиба с ценой деления  $0,05\text{кг}(0,5\text{м.})$

Газопроницаемость определяют на стандартном приборе испытанием образцов в виде диска  $\varnothing 50$  мм и толщиной 3мм.

### **Заливка форм. Охлаждение.**

Температура форм перед заливкой зависит от толщины стенок и материала отливки. Обычно расплав заливают в горячие формы ( $750 - 900^{\circ}\text{C}$ ) сразу после их прокаливания. При изготовлении отливок с массивными стенками расплав заливают в формы, охлажденные до  $200 - 400^{\circ}\text{C}$ , что способствует улучшению структуры отливок. Естественный процесс охлаждения залитых форм занимают много времени. Формы охлаждают до выбивки и после выбивки сжатым воздухом и водой в специальных камерах. Металл получают в основном в индукционных печах небольшой емкости (до  $0,9$  т).

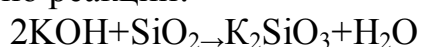
### **Выбивка и очистка отливок.**

Оболочковые формы без опорного материала после заливки и охлаждения отливок поступают на предварительную очистку. Формы с опорным мат-лом легко выбивается при опрокидывании контейнеров на провальную решетку, а формы с жидким упрочняющим мат-лом выбивают на выбивных решетках.

Отливки вместе с л. с. поступают на участок отделения керамики от отливок на вибрационных установках (предварительная очистка ).

Окончательная очистка производится в специальных ваннах выщелачиванием (хим. способ).

Выщелачивание широко применяется в массовом производстве мелких отливок. Очистку ведут в горячих водных р-рах ( $45-55\%$ ) щелочей  $\text{KOH}$ ,  $\text{NaOH}$  при  $t$ -ре раствора  $90-95^{\circ}\text{C}$ . При этом кремнезем формы  $\text{SiO}_2$  взаим. по реакции:



Отделение отливок от литников выполняют различными способами: на виброустановках, отрезка на металлореж. станках (единичное производство), отделение отливок на прессах (массовое производство), газопламенная резка (крупные отливки ) и др.



Окончательная очистка также может производиться механическим способом (для алюминиевых и медных сплавов) электроискровым способом (для легированных, высокоуглеродистых сталей). После очистки отливки подвергаются термообработке с целью изменения структуры и упрочнения: обжиг или нормализация (снятие термических напряжений).

### **Дефекты отливок.**

Дефекты отливок условно разделяют на:

- поверхностные дефекты (внешние)
- внутренние
- отклонение размером и конфигурации
- несоответствие по химическому составу и структуре
- несоответствие механическим свойствам металла.

### **Дефекты поверхности.**

1. Суспензия плохо смачивает модель (остатки смазки пресс-форм, состав модели). Устраняется введением в суспензию ПАВ (мылонафт, мыло, ДС-РАС).

2. Пробивание I слоя суспензии. Устраняется повышением её вязкости, может быть также вызвано недогидролизированным ЭТС. Необходимо увеличить количество воды при гидролизе ЭТС.

3. Заливы, наплывы на поверхности отливок, "гребешки". Образуются из-за проникновения расплава в трещины оболочковой формы. Происходит вследствие недостаточной её прочности.

### **Внутренние дефекты отливок.**

1. Засоры - открытие или закрытие полости в теле отливки, заполненные материалом оболочки, образуется из-за попадания песчинок в форму при смывании струей металла "заусенцев" на оболочке, образующих между моделью и литниковой системой.

2. Усадочные раковины и пористость возникают в теле отливки из-за недостаточного питания при затвердевании, чрезмерно повышенной температуры расплава и формы, нарушения хим. состава металла.

3. Газовые раковины - следствие недостаточной газопроницаемости оболочковой формы.

4. Горячие трещины – нетехнологичность конструкции отливки (сочетание тонких и массивных стенок, наличие острых углов, недостаточный размер галтелей и т. д.), а также повышенная температура заливки, малая податливость формы.

## **Отклонения размеров и конфигурации отливки.**

- нестабильность усадки модельного состава;  
- деформация оболочковых форм в процессе прокаливания из-за полиморфных (аллотропических превращений в песке) превращений материала формы. Поэтому в перспективе лучше применять материалы не имеющие полиморфных превращений (плавленый кварц, высокоглиноземистый шамот и др.).

### **Автоматизация процесса литья по выплавляемым моделям.**

Качество отливок и эффективность пр-ва при ЛВМ зависит от стабильности технологических режимов на всех основных операциях этого многооперационного процесса (например, отклонения в соотношении компонентов модельного состава могут привести к браку моделей, > температура к усадке, отклонения от режимов прокали - к браку форм и т.д.).

Вместе с тем для многих операций требуется выполнение сложных манипуляций (изготовление моделей, сборка их в блоки, формировка и т. д. ) многие операции связаны с тяжелыми условиями труда.

Поэтому автоматизация технологического процесса изготовления отливок по ЛВМ решает следующие основные задачи:

- 1) повешение качества отливок и производительности труда путём стабилизации режимов технологического процесса на всех его операциях;
- 2) освобождение людей от трудоёмких, монотонных работ и улучшение условий их труда.

В зависимости от характера производства, номенклатуры отливок и требований, предъявляемых к ним, и проблема автоматизации производства решается различно.

В массовом производстве используют автоматизированные линии, которые выполняют операции от приготовления модельного состава до окончательной очистки и термообработки отливок. Такие линии позволяют компенсировать автоматизировать производство отливок.

В серийном производстве осуществляется автоматизация отдельных операций, таких как изготовление моделей, приготовление суспензии, изготовление оболочковых форм, их прокаливание и т. д. Однако ряд операций выполняют вручную, например сборку моделей в блоки пайкой и т.д. Автоматизация технологического оборудования для линии, для массового производства и компоненты технологического оборудования для серийного и мелкосерийного производства имеют в своём составе многие виды однотипного оборудования.

Это, например, установки для приготовления пастообразного модельного состава, карусельные автоматы для изготовления моделей и т. д.

### **Проектирование технологического процесса.**

1 Исходными данными при проектировании технологического процесса изготовления отливки является программа выпуска, чертеж детали, технологические условия на качество отливки, а также особые условия применительно к данному предприятию, цеху.

Проектирование технологического процесса начинается с анализа технологичности конструкции отливки, возможности и целесообразности ее изготовления тем или иным способом литья.

#### **2 .Анализ технологичности отливки.**

Заключается в установлении соответствия ее требованиям литейной технологии с учетом последующей технологичности обработки резанием и сборки.

На этом этапе изучают чертеж детали, технические условия определяющие требования к качеству а также особые условия производства.

3 Сплавы для изготовления отливок м.б. различными, наиболее эффективно применение при ЛВМ трудно обрабатываемых сплавов и сплавов с особыми свойствами и структурой (напр., сталь гатфильда).

4 Габаритные размеры и масса модельного блока м.б. от нескольких грамм до 300 кг. Габариты от нескольких мм до 1 м. Минимальная толщина стенок 0,6 мм. Наиболее рациональная толщина стенок 2-5 мм, протяженность 20-100 мм и более.

Соотношение тонких и толстых стенок в отливке не более 1:4. Массивные узлы присоединяют через питатель к стояку или используют прибыль (в крупных отливках).

При проектировании пресс-форм в стенках необходимо назначать уклоны для легкого извлечения моделей. При сопряжении стенок необходимо плавный переход для чего назначают радиусы скруглений (галтели), чтобы не создавать тепловых узлов.

Предложение технолога должно быть согласовано с конструктором детали.

Пазы и полости в отливках желательно применять реже, т.к для их оформления в модели необходимо в конструкции прессформы предусматривать дополнительные стержни.

### **Разработка чертежа отливки**

Включает в себя:

- выбор положения отливки при заливке,
- назначение мест подвода расплава,
- выбор конструкции литниково-питающей системы, ее расчет;
- назначение припусков на обработку, уклонов, допусков на размеры согласно существующим ГОСТам, нормативам и рекомендациям.

**Назначение поверхности разъема.** Обычно разъем выполняется только на пресс-форме для удобства извлечения моделей.

Припуски на обработку резанием обычно составляет 0,5 – 3 мм. (в соответствии с действующим стандартом) и на чертеже их обозначают тонкой сплошной линией.

#### **Литниково - питающая система.**

Предназначена для заполнения формы расплавом, питания затвердевающей отливки, а также часто является конструкцией, на которой монтируются модели. Следовательно, при определении конструкции и размеров ЛПС необходимо учитывать условия получения качественных отливок и механическую прочность ЛПС.

Типы ЛПС.

Различают 3 типа ЛПС.

I тип применяют для отливок массой до 1,5 кг.

Блок моделей собирают из отдельных моделей припайванием к стояку через питатель или из специальных звеньев из четырех и более моделей в звене. Эта ЛПС не имеет отдельных питающих элементов (прибылей) – отливки питаются от стояка, масса которого значительно превышает массу отливки.

II тип ЛПС применяется для изготовления сложных по конфигурации и ответственного назначения, тонкостенных, средней и большой массы отливок из легированных сталей. ЛПС представляет собой стояк в сочетании с местными прибылями.

III тип применяют при изготовлении отливок типа крыльчаток, колес, гребных винтов, имеющих тонкостенные лопасти и массивную центральную часть, питаемую прибылью. Заливка металла ведется через прибыль.

Расчет ЛПС.

На практике наибольшее применение получили 2 способа расчета: по модулю охлаждения (приведенная толщина) и с учетом сужающейся конструкции ЛПС.

Первый способ разработан М. Л. Хенкиным для ЛПС I типа. Приведенную толщину питателя (отношение площади сечения питателя к его периметру) определяют по эмпирической формуле:

$$\delta_n = \frac{2^4 \sqrt[3]{\delta_o^3 Q * \sqrt[3]{L_n}}}{\delta_{ст}},$$

где  $\delta_{ст}$  – приведенная толщина сечения стояка (отношение площади к диаметру, диаметр стояка 20-60мм) ;

$\delta_o$  – приведенная толщина узла питания отливки или её массивного узла (отношение объёма массивной части отливки к её поверхности);

$Q$  – масса отливки, г;

$L_n$  – длина питателя, мм,

Качественные отливки м. получают только при условии  $\delta_{ст} > \delta_n > \delta_o$ ,

Так как при этом обеспечивается направленное затвердевание от отливки к стояку и питание отливки.

второй способ, разработан Н. Н. Лященко, применяется для расчёта размеров элементом ЛПС II и III типов.

Размеры прибылей определяют по методу вписанных окружностей.

Площадь суженного сечения питателя определяют по формуле:

$$f_{\text{пит}} = \frac{Q}{\mu \rho \tau \sqrt{2gH}}, \text{ (гидравлический метод)}$$

где  $Q$  – масса отливки, г ;

$\rho$  - плотность ж. металла,  $\text{г/см}^3$

$\mu$  – коэф. расхода,  $\mu=0,8-0,9$  без учёта энергии струи,  $\mu=1,4-1,5$  с учётом энергии струи

$\tau$  - время заполнения формы,

$q$  - ускорение свободного падения,  $\text{см/с}^2$

$H_p$  - расчётный напор столба металла в узком сечении, см.

после расчёта питателей определяют размер сечения (1 питателя) стояка.

### Тема 1.3 - Литьё по моделям из пенополистирола.

Наряду с достоинствами, ЛВМ имеет главный недостаток:

1. Нестабильность в точности размеров, особенно с увеличением габаритов и массы отливок. Причина - неустойчивость усадки моделей, низкая температура размягчения ( $25 - 30^{\circ}\text{C}$ ). Поэтому одним из резервов повышения точности является применение новых и прогрессивных материалов.

Таким материалом является пенополистирол (полистирол).

**Полистирол** – это синтетический полимер, получаемый полимеризацией стирола. Полистирол при  $20^{\circ}\text{C}$  представляет собой стекловидный материал, который при температуре  $\approx 80^{\circ}\text{C}$  приобретает каучукоподобные свойства. Химическая формула  $(\text{C}_6\text{H}_5-\text{CH}=\text{CH}_2)_n$ ,  $\delta = 1080 \text{ кг/м}^3$

**Стирол** – бесцветная жидкость,  $\delta = 905 \text{ кг/м}^3$  получают на основе бензола и этилена.

Для получения вспенивающегося полистирола применяют метод суспензионной полимеризации стирола в специальных реакторах.

#### Сущность способа ЛПМ

Исходный полистирол в виде гранул подвергают предварительно тепловой обработке подвспениванию. В результате этого гранулы увеличиваются в объёме (до 40 раз), а их внутренняя структура приобретает каучукообразное состояние.

Подвспененные гранулы выдерживают на воздухе не менее 24 часов, для насыщения их воздухом с целью придания им активности к повторному росту и спеканию в модель.

Выдержанный пенополистирол загружают в пресс-форму, аналогично ЛВМ процессу и подвергают вторичной тепловой обработке - окончательному вспениванию. При этом гранулы растут в объёме пресс-формы соприкасаясь с соседними. С увеличением их объёма происходит механическое сцепление гранул между собой (спекание) в однородную массу заполняя весь объём пресс-формы.

После этого пресс-форму с моделью охлаждают, раскрывают и извлекают модель.

Т.о. характерным для производства моделей из пенополистирола является 2<sup>х</sup>-стадийный процесс:

1. Подвспенивание.
2. Окончательное спекание его в пресс-форме.

Главным является стабильность и высокая точность модели и отливки; низкая усадка пенополистирола до 0,2 %; модель негигроскопична; имеет высокую ( $\approx 80^{\circ}\text{C}$ ) температуру размягчения.

Применение пенополистирола производится в двух направлениях:

1. литьё по газифицируемым моделям, при котором модель с литниковой системой из пенополистирола формируют в сухом наполнителе

(кварцевый песок) или в ЖСС. Формовку производят в специальной разъемной вентилируемой опоке. На модель через Л С. заливают расплав: модель при этом выгорает (газифицируется). Происходит прямое замещение модели расплавом. После остывания отливка извлекается, а песок уходит на охлаждение и регенерацию. Песок используют многократно (до 10 и более раз), модель разовая.

2. литье по растворимым моделям, когда на модель наносят огнеупорную оболочку (аналогично ЛВМ), растворяют модель (удаление из оболочки), прокаливают оболочку, формуют и заливают расплавом.

### **Литье по газифицируемым моделям.**

Характерной особенностью технологии производства литья по пеномоделям является двух стадийный процесс изготовления моделей.

#### **Изготовление моделей.**

Состоит из стадий:

1. подвспенивание исходного материала (полистирола)
2. смешивание подвспененного полистирола в модельную массу в пресс-формах.

#### **Подвспенивание.**

Это процесс обработки теплоносителем исходного гранулята полистирола. Подвспенивание производится для придания гранулам необходимого предварительного роста с тем, чтобы при повторном нагреве они могли расширяться и заполнять все промежутки и пустоты в пресс-форме и спекаться под влиянием создаваемого ими давления в пресс-форме.

Сущность подвспенивания – процесс состоит в том, что в ячейки гранулы полистирола проникает теплоноситель – водяной пар или горячий воздух. Схема структуры гранулы показана на рисунке.

Под действием тепла изопентан, находящийся в микро ячейке гранулы в твердом состоянии при  $t = 28^{\circ}\text{C}$  начинает испаряться. При дальнейшем нагреве ( $t = 80 - 90^{\circ}\text{C}$ ) и происходит размягчение полимерной пленки полистирола, из которого состоит гранула и происходит увеличение гранулы в объеме за счет давления паров на стенки пленки испаряющегося изопентана.

Для получения полистирола необходимого качества создают условия для подвспенивания при, которых исключается разрыв оболочки (пленок) гранул.

Основным показателем качества при этом является насыпная масса, подвспен. полистирола, которая для газифицируемых моделей д.б.

$$\delta = 0,020-0,035 \text{ г/см}^3$$

$$\delta_{\text{исх}} \approx 1,0 \text{ г/см}^3$$

Основным показателем качества при заданной насыпной массе для получения моделей с четкой конфигурацией является активность при вспенивании.

$$A = \frac{100 - V}{V} \left( \frac{\delta_{\text{факт}}}{\delta_{\text{ист}}} - 1 \right) * 100$$

A- коэффициент активности.

V- объём межгранульных пустот в 100см<sup>3</sup> подвспененных гранул

$\delta_{\text{факт.}}$  -насыпная масса подвспененных гранул при заданной продолжительности нагрева, г/см<sup>3</sup>

$\delta_{\text{ист.}}$  - минимальная насыпная масса подвспененных гранул при 100 °С, г/см<sup>3</sup>

Подвспенивание характеризуется температурой теплоносителя и продолжительностью нагрева.

Для достижения, например, насыпной плот. 0,025г/см<sup>3</sup> необходимо нагревать гранулы при температуре теплоносителя  $t = 105-110^{\circ}\text{C}$  в течении 3-3,5мин.

Подвспенивание полистирола может осуществляться в горячей воде, перегретым паром, воздухом, инфракрасными лучами, ТВЧ. Каждый из способов имеет свою определенную область применения

### **Реализация процесса подвспенивания.**

1. Насыпают рабочий гранулят ровным слоем на сито (толщина слоя = диаметру одной гранулы); размер ячейки сита не >0.1мм.

2. Помещают сито с полистиролом в рабочую камеру нагревателя (автоклав, сварной шкаф и т.п.)

3 При открытом выпускном кране камеры, подают пар в камеру.

4. Выдерживают при  $t_{\text{пара}}$  полистирол на сите в течение 3,5-4 мин.

5. Прекращают подачу пара и извлекают сито с подвспененным П.

При подвсп. перепад давления в рабочей камере на впуске и выходе д.б. 0,2 атм.=0,2\*10<sup>5</sup>Па

Контроль ведут по манометру, установленному на паровой камере.

Указанный способ носит название "Подвспенивание в непрерывном потоке пара".

После подвспенивания П. подвергается контролю на насыпную массу.

### **Получение моделей.**

После подвспенивания П. необходимо выдержать на воздухе не <24ч перед изготовлением моделей.

В течение этого периода в объём гранул диффундирует воздух – происходит повышение спекающей активности гранул.

Затем гранулы засыпают в пресс-форму и подвергают вторичному обогреву.



Рабочий объем пресс-формы д.б. заполнен гранулами полностью. В процессе нагрева пресс-форм с ПП происходит вновь размягч. гранул и дальнейший их рост.

В конечном итоге гранулы под собственным давлением спекаются в однородную массу, заполняя весь объем пресс-формы.

После определенного времени выдержки в теплоносителе пресс-форму охлаждают до  $t=20^0-30^0\text{C}$  и извлекают из неё модель.

Время выдержки пресс-формы в теплоносителе определяется опытным путем и зависит от материала пресс-форм (стальная, из алюмин. сплавов, комбинированная), толщины их стенок, габаритов модели, а также от насыпной плотности подвспененного пенополистирола.

### **Способы формообразования моделей.**

1. Ванный способ. Вспенивание гранул в пресс-формах осущ.в кипящей воде. Способ простой, однако, процесс спекания длительный –40-50мин.

2. Метод "теплого удара". Заключается в том, что в пресс-форму подается пар с  $t=120^0\text{C}$  с помощью инжектора. Способ высокопроизводительный, длительность процесса-15-20 с. Недосток – трудности в изготовлении сложных по конфигурации моделей. В основном применяется для изготовления симметричных моделей

### **3. Способ с применением ТВЧ**

При этом способе пресс-форма с полистиролом помещается между пластинами конденсатора, включается ток и под действием ВЧ производится нагрев гранул.

Недостаток: Сложность конструкции установки; Невозможно получение сложных моделей из-за различной напряженности эл. поля на различных участках моделей.

### **4. Вспенивание под действием горячего воздуха.**

Процесс самый длительный (1,5-2 часа) из-за плохой тепловой активности воздуха. Процесс практически не применяется.

5. Наиболее распространенный способ получения моделей в автоклавах, когда спекание моделей происходит в атмосфере пара с давлением до  $2^x$  атмосфер (0,2МПа).

Способ производителен, но имеется трудность в изготовлении разно стенных моделей, кроме этого автоклавный способ имеет ограничение. Для различной номенклатуры отливок требуется специальный подбор тепловых режимов спекания. Оптимальным, те соответствующим основным требованием изготовления моделей является способ обогрева пресс-форм в непрерывном потоке пара, аналогично подвспениванию. Преимущество - получение качественных моделей независимо от конфигурации, толщины стенок, материала пресс-форм,  $\tau$  процесса  $\approx 15-20$ мин.

### Изготовление литейной формы.

Полученные модели собирают в блоки, предварительно нанося противопригарное покрытие. На подушку из песка укладывают коллектор с моделями (или аналогично с ЛВМ блок моделей) и формуют в неразъёмных вентилируемых опоках свободной засыпкой песка с одновременной вибрацией. Установ. крышка, груза.

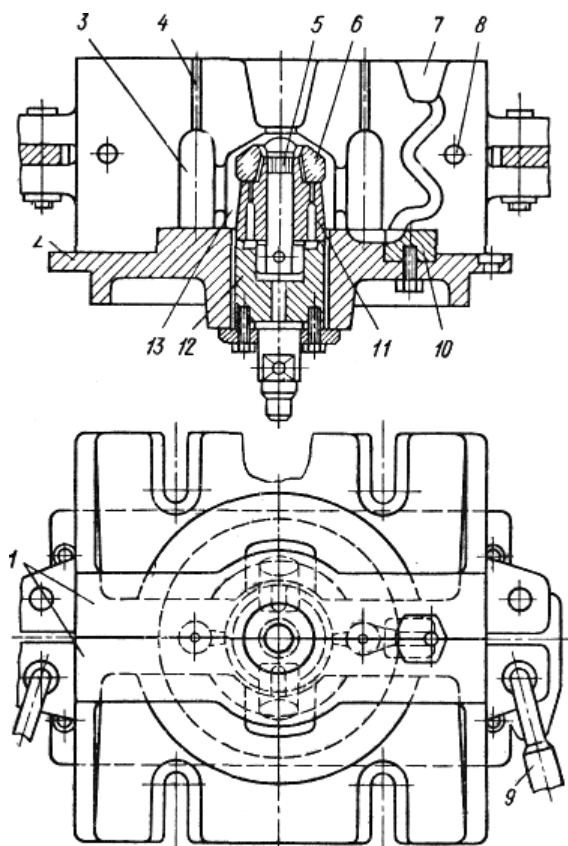
(м. формовать в ЖСС).

## Раздел 2 – Литье в постоянные формы

### Тема 2.1 – Литье в кокиль

#### **Сущность технологии литья в кокиль**

Кокиль (от франц. coquille) — металлическая форма, которая заполняется расплавом под действием гравитационных сил. В отличие от разовой песчаной формы кокиль может быть использован многократно. Таким образом, сущность литья в кокили состоит в применении металлических материалов для изготовления многократно используемых литейных форм, металлические части которых составляют их основу и формируют конфигурацию и свойства отливки.



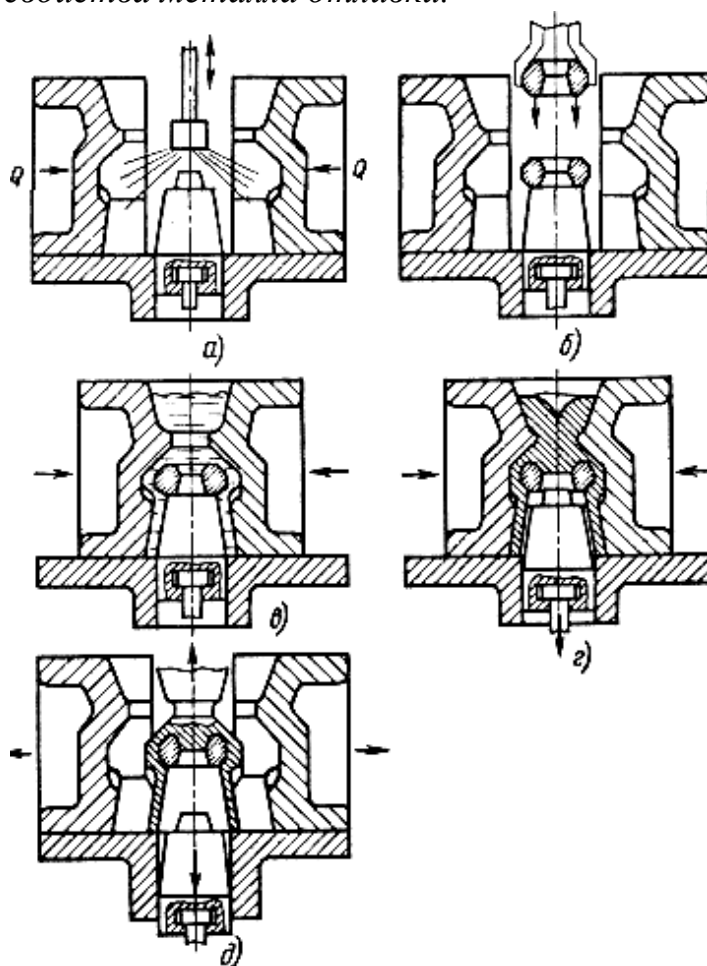
1 – полуформы; 2 – плита; 3 – прибыли (питающие выпора); 4 – вентиляционные выпоры; 5 – пробки; 6 – песчаный стержень; 7 – литниковая система; 8 – центрирующие штыри; 9 – замки для соединения полуформ; 10 – вставки; 11 – металлический стержень; 12 – вентиляционные каналы; 13 – рабочая полость кокиля

Рис.1 – Типовой кокиль простой конструкции

Основные элементы кокиля — полуформы, плиты, вставки, стержни т. д.— обычно изготавливают из чугуна или стали.

## Основные операции технологического процесса литья в кокиль

Перед заливкой расплава новый кокиль готовят к работе: поверхность рабочей полости и разъем тщательно очищают от следов загрязнений, ржавчины, масла; проверяют легкость перемещения подвижных частей, точность их центрирования, надежность крепления. Затем на поверхность рабочей полости и металлических стержней наносят слой огнеупорного покрытия (рис. 2, а) — облицовки и краски. Состав облицовок и красок зависит в основном от заливаемого сплава, а их толщина — от требуемой скорости охлаждения отливки: чем толще слой огнеупорного покрытия, тем медленнее охлаждается отливка. Вместе с тем слой огнеупорного покрытия предохраняет рабочую поверхность формы от резкого повышения ее температуры при заливке, расплавления и схватывания с металлом отливки. Таким образом, облицовки и краски выполняют две функции: защищают поверхность кокиля от резкого нагрева и схватывания с отливкой и позволяют регулировать скорость охлаждения отливки, а значит, и процессы ее затвердевания, влияющие на свойства металла отливки.



а — нанесение огнеупорного покрытия; б — постановка стержней; в — запираение стенок кокиля, заливка кокиля расплавом; г — подрыв (частичное извлечение) стержня при затвердевании и охлаждении отливки; д - извлечение отливки из кокиля

Рис.2 – Последовательность изготовления отливки в кокиле

Перед нанесением огнеупорного покрытия кокиль нагревают газовыми горелками или электрическими нагревателями до температуры 150...180°C. Краски наносят на кокиль обычно в виде водной суспензии через пульверизатор. Капли водной суспензии, попадая на поверхность нагретого кокиля, испаряются, а огнеупорная составляющая ровным слоем покрывает поверхность.

После нанесения огнеупорного покрытия кокиль нагревают до рабочей температуры, зависящей в основном от состава заливаемого сплава, толщины стенки отливки, ее размеров, требуемых свойств. Обычно температура нагрева кокиля перед заливкой 200...350°C.

Далее, в кокиль устанавливают песчаные или керамические стержни (рис. 2,б), если таковые необходимы для получения отливки; половины кокиля соединяют (рис. 2,в) и скрепляют специальными зажимами, а при установке кокиля на кокильной машине с помощью ее механизма запираения, после чего заливают расплав в кокиль. Часто в процессе затвердевания и охлаждения отливки, после того как отливка приобретет достаточную прочность, металлические стержни «подрывают», т. е. частично извлекают из отливки (рис. 2,г) до ее извлечения из кокиля. Это делают для того, чтобы уменьшить обжатие усаживающейся отливкой металлического стержня и обеспечить его извлечение из отливки. После охлаждения отливки до заданной температуры кокиль раскрывают, окончательно извлекают металлический стержень и удаляют отливку из кокиля (рис. 2,д). Из отливки выбивают песчаный стержень, обрезают литники, прибыли, выпоры, контролируют качество отливки. Затем цикл повторяется.

Перед повторением цикла осматривают рабочую поверхность кокиля, плоскость разъема. Обычно огнеупорную краску наносят на рабочую поверхность кокиля 1...2 раза в смену, изредка восстанавливая ее в местах, где она отслоилась от рабочей поверхности. После этого при необходимости, что чаще бывает при литье тонкостенных отливок или сплавов с низкой жидкотекучестью, кокиль подогревают до рабочей температуры, так как за время извлечения отливки и окраски рабочей поверхности он охлаждается. Если же отливка достаточно массивная, то, наоборот, кокиль может нагреваться ее теплотой до температуры большей, чем требуемая рабочая, и перед следующей заливкой его охлаждают. Для этого в кокиле предусматривают специальные системы охлаждения.

Как видно, процесс литья в кокиль — малооперационный. Манипуляторные операции достаточно просты и кратковременны, а лимитирующей по продолжительности операцией является охлаждение отливки в форме до заданной температуры. Практически все операции могут быть выполнены механизмами машины или автоматической установки, что является существенным преимуществом способа, и, конечно, самое главное — исключается трудоемкий и материалоемкий процесс изготовления формы. Кокиль используется многократно.

### **Особенности формирования и качество отливок при литье в кокиль.**

Кокиль — металлическая форма, обладающая по сравнению с песчаной значительно большей теплопроводностью, теплоемкостью, прочностью, практически нулевыми газопроницаемостью и газотворностью. Эти свойства материала кокиля

обуславливают рассмотренные ниже особенности его взаимодействия с металлом отливки.

1. Высокая эффективность теплового взаимодействия между отливкой и формой: расплав и затвердевающая отливка охлаждаются в кокиле быстрее, чем в песчаной форме, т. е. при одинаковых гидростатическом напоре и температуре заливаемого расплава заполняемость кокиля обычно хуже, чем песчаной формы. Это осложняет получение в кокилях отливок из сплавов с пониженной жидкотекучестью и ограничивает минимальную толщину стенок и размеры отливок. Вместе с тем повышенная скорость охлаждения способствует получению плотных отливок с мелкозернистой структурой, что повышает прочность и пластичность металла отливок.

Особенности литья в кокиль чугуна: в отливках из чугуна, получаемых в кокилях, вследствие особенностей кристаллизации часто образуются карбиды, ферритографитная эвтектика, отрицательно влияющие на свойства чугуна: снижается ударная вязкость, износостойкость, резко возрастает твердость в отбеленном поверхностном слое, что затрудняет обработку резанием таких отливок и приводит к необходимости подвергать их термической обработке (отжигу) для устранения отбела.

2. Кокиль практически неподатлив и более интенсивно препятствует усадке отливки, что затрудняет извлечение ее из формы, может вызвать появление внутренних напряжений, коробление и трещины в отливке.

Однако размеры рабочей полости кокиля могут быть выполнены значительно точнее, чем песчаной формы. При литье в кокиль отсутствуют погрешности, вызываемые расталкиванием модели, упругими и остаточными деформациями песчаной формы, снижающими точность ее рабочей полости и соответственно отливки. Поэтому отливки в кокилях получаются более точными.

3. Физико-химическое взаимодействие металла отливки и кокиля минимально, что способствует повышению качества поверхности отливки. Отливки в кокиль не имеют пригара. Шероховатость поверхности отливок определяется составами облицовок и красок, наносимых на поверхность рабочей полости формы, и соответствует  $Rz = 10 \dots 80$  мкм, но может быть и меньше.

4. Кокиль практически газонепроницаем, но и газотворность его минимальна и определяется в основном составами огнеупорных покрытий, наносимых на поверхность рабочей полости. Однако газовые раковины в кокильных отливках — явление не редкое. Причины их появления различны, но в любом случае расположение отливки в форме, способ подвода расплава и вентиляционная система должны обеспечивать удаление воздуха и газов из кокиля при заливке.

### **Эффективность производства(преимущества и недостатки) и область применения.**

Преимущества литья в кокиль на основе производственного опыта:

1. Повышение производительности труда в результате исключения трудоемких операций смесеприготовления, формовки, очистки отливок от пригара. Поэтому использование литья в кокили, по данным различных предприятий, позволяет в 2—3 раза повысить производительность труда в литейном цехе, снизить

капитальные затраты при строительстве новых цехов и реконструкции существующих за счет сокращения требуемых производственных площадей, расходов на оборудование, очистные сооружения, увеличить съём отливок с 1 м<sup>2</sup> площади цеха.

2. Повышение качества отливки, обусловленное использованием металлической формы, повышение стабильности показателей качества: механических свойств, структуры, плотности, шероховатости, точности размеров отливок.

3. Устранение или уменьшение объема- вредных для здоровья работающих операций выбивки форм, очистки отливок от пригара, их обрубки, общее оздоровление и улучшение условий труда, меньшее загрязнение окружающей среды.

4. Механизация и автоматизация процесса изготовления отливки, за счет многократностью использования кокиля. *При литье в кокиль устраняется сложный для автоматизации процесс изготовления литейной формы. Остаются лишь сборочные операции: установка стержней, соединение частей кокиля и их крепление перед заливкой, которые легко автоматизируются.* Вместе с тем устраняется ряд отрицательных факторов, влияющих на качество отливок при литье в песчаные формы, таких, как влажность, прочность, газопроницаемость формовочной смеси, что делает процесс литья в кокиль более управляемым. *Для получения отливок заданного качества легче осуществить автоматическое регулирование технологических параметров процесса. Автоматизация процесса позволяет улучшить качество отливок, повысить эффективность производства, изменить характер труда литейщика-оператора, управляющего работой таких комплексов.*

Недостатки литья в кокиль на основе производственного опыта:

1. Высокая стоимость кокиля, сложность и трудоемкость его изготовления.

2. Ограниченная стойкость кокиля, измеряемая числом годных отливок, которые можно получить в, данном кокиле. *От стойкости кокиля зависит экономическая эффективность процесса особенно при литье чугуна и стали, и поэтому повышение стойкости кокиля является одной из важнейших проблем технологии кокильного литья этих сплавов.*

3. Сложность получения отливок с поднутрениями, для выполнения которых необходимо усложнять конструкцию формы — делать дополнительные разъемы, использовать вставки, разъемные металлические или песчаные стержни.

4. Отрицательное влияние высокой интенсивности охлаждения расплава в кокиле по сравнению с песчаной формой. Это ограничивает возможность получения тонкостенных протяженных отливок, а в чугунных отливках приводит к отбелу поверхностного слоя, ухудшающему обработку резанием; вызывает необходимость термической обработки отливок.

5. Неподатливый кокиль приводит к появлению в отливках напряжений, а иногда к трещинам.

Преимущества и недостатки технологии литья в кокиль определяют рациональную область его использования: экономически целесообразно вследствие высокой стоимости кокилей применять этот способ литья только в серийном или массовом производстве.

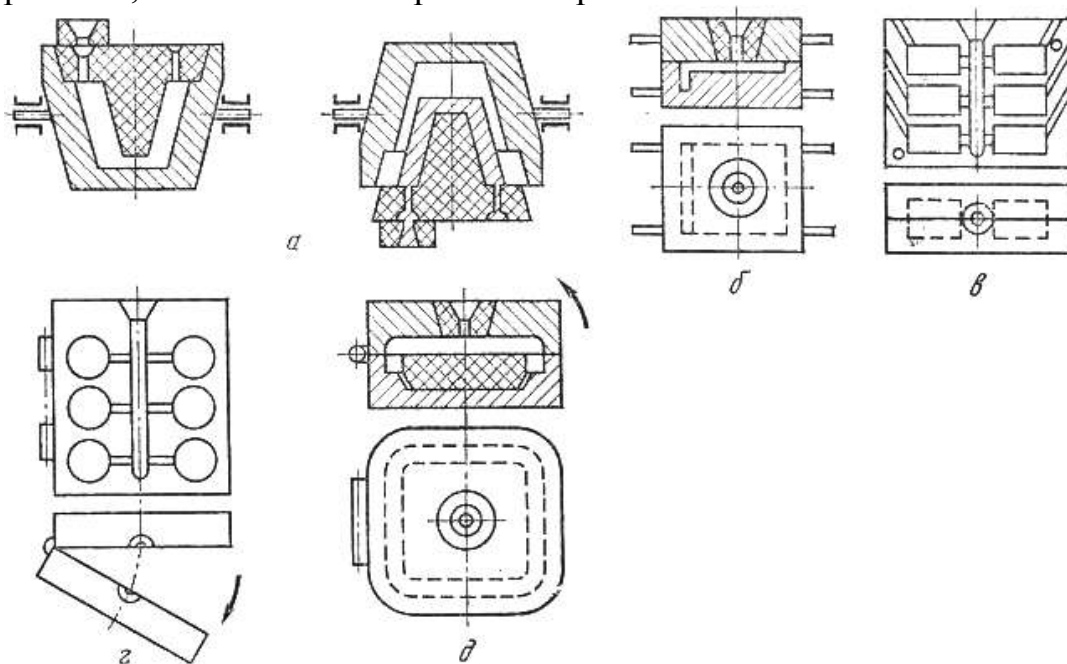
Отливки в кокильном литье получают из чугуна, стали и цветных сплавов с толщиной стенок 3...100 мм и массой от десятков граммов до сотен килограммов. В соответствии с ГОСТами точность отливок достигает 12...15-го квалитетов, а шероховатость поверхности  $Ra = 2,5...25\text{мкм}$ . Отливки характеризуются стабильностью по механическим свойствам и плотности.

*Эффективность литья в кокиль* обычно определяют в сравнении с литьем в песчаные формы. Экономический эффект достигается благодаря устранению формовочной смеси, повышению качества отливок, их точности, уменьшению припусков на обработку, снижению трудоемкости очистки и обрубки отливок, механизации и автоматизации основных операций и, как следствие, повышению производительности и улучшению условий труда.

Таким образом, литье в кокиль с полным основанием следует отнести к трудо- и материалосберегающим, малооперационным и малоотходным технологическим процессам, улучшающим условия труда в литейных цехах и уменьшающим вредное воздействие на окружающую среду.

### **Классификация кокилей по их конструкции.**

В зависимости от расположения поверхности разъема кокили бывают: неразъемные, с вертикальной плоскостью разъема, с горизонтальной плоскостью разъема, со сложной поверхностью разъема.



- а - вытряхной;
- б - с горизонтальной плоскостью разъема;
- в - с вертикальной плоскостью разъема;
- г - створчатый с вертикальной плоскостью разъема;
- д - створчатый с горизонтальной плоскостью разъема.

Рис. 3 – Классификация кокилей по конструкции

Неразъемные, или вытряхные, кокили применяют, когда конструкция отливки позволяет удалить из плоскости кокиля без его разъема.



Кокили с вертикальной плоскостью разъема состоят из двух и более полуформ. Отливка может располагаться целиком в одной из половин кокиля, в двух половинах кокиля, одновременно в двух половинах кокиля и в нижней плите.

Кокили с горизонтальным разъемом применяют преимущественно для простых по конфигурации, а также крупногабаритных отливок.

Кокили со сложной (комбинированной) поверхностью разъема используют для изготовления отливок сложной конфигурации.

В зависимости от способа охлаждения различают кокили с воздушным, жидкостным и с комбинированным охлаждением. Воздушное охлаждение используют для малотеплонагруженных кокилей. Водяное охлаждение используют обычно для высокотеплонагруженных кокилей, а также для повышения скорости охлаждения отливки или ее отдельных частей.

По числу рабочих полостей (гнезд), определяющих возможность одновременного, с одной заливки, изготовления того или иного количества отливок, кокили разделяют на одноместные и многоместные.

### **Конструкция кокилей. Назначение основных элементов конструкции кокилей.**

К основным конструктивным элементам кокилей относят:

Формообразующие элементы - половины кокилей, нижние плиты, вставки, стержни, конструктивные элементы - выталкиватели, плиты выталкивателей, запирающие механизмы, системы нагрева и охлаждения кокиля и отдельных его частей, вентиляционную систему, центрирующие штыри и втулки.

Корпус кокиля или его половины выполняют коробчатыми, с ребрами жесткости. Толщина стенки кокиля зависит от состава заливаемого сплава и его температуры, размеров и толщины стенки отливки, материала, из которого изготавливается кокиль, конструкции кокиля. Толщина стенки кокиля должна быть достаточной, чтобы обеспечить заданный режим охлаждения отливки, достаточную жесткость кокиля и минимальное его коробление при нагреве теплотой залитого расплава, стойкость против растекания.

Стержни в кокилях могут быть песчаными и металлическими. Песчаные стержни для кокильных отливок должны обладать пониженной газотворностью и повышенной поверхностной прочностью. Первое требование обусловлено трудностями удаления газов из кокиля; второе - взаимодействием знаковых частей стержней с кокилем, в результате чего отдельные песчинки могут попасть в полость кокиля и образовать засоры в отливке. Стержневые смеси и технологические процессы изготовления песчаных стержней могут быть различными.

Металлические стержни применяют, когда это позволяет конструкция отливки и технологические свойства сплава. Использование металлических стержней дает возможность повысить скорость затвердевания отливки, сократить продолжительность цикла ее изготовления. Однако при использовании металлических стержней возрастают напряжения в отливках, возможно появление трещин.

Для надежного извлечения стержней из отливки они должны иметь уклоны 1—5°, хорошие направляющие во избежание перекосов, а также надежную фиксацию в форме. Во многих случаях металлические стержни делают водоохлаждаемыми изнутри. Водяное охлаждение стержня обычно включают после образования в отливке прочной корочки. При охлаждении размеры стержня сокращаются так, что между ним и отливкой образуется зазор, который уменьшает усилие извлечения стержня из отливки.

Для извлечения стержней в кокилях предусматривают винтовые, эксцентриковые, реечные, гидравлические и пневматические механизмы.

Вентиляционная система обеспечивает направленное вытеснение воздуха из кокиля расплавом. Для выхода воздуха используют открытые выпоры, прибыли, зазоры по плоскости разъема и между подвижными частями кокиля и специальные вентиляционные каналы. В местных углублениях формы при заполнении их расплавом могут образовываться воздушные мешки. В этих местах в стенке кокиля устанавливают вентиляционные пробки. При выборе места установки вентиляционных пробок необходимо учитывать последовательность заполнения формы расплавом.

Центрирующие элементы - контрольные штыри и втулки - предназначены для точной фиксации половин кокиля при его сборке. Обычно их количество не превышает двух. Их располагают в диагонально расположенных углах кокиля.

Запирающие механизмы Запирающие механизмы предназначены для предотвращения раскрытия кокиля и исключения прорыва расплава по его разъему при заполнении, а также для обеспечения точности отливок. В ручных кокилях применяют эксцентриковые, клиновые, винтовые замки и другие устройства, обеспечивающие плотное соединение частей кокиля. Закрытие и запирание кокилей, устанавливаемых на машинах, осуществляется пневматическим или гидравлическим приводом подвижной плиты машины.

Системы нагрева и охлаждения предназначены для поддержания заданного температурного режима кокиля. Применяют электрический и газовый обогрев. Первый используется для общего нагрева кокиля, второй более удобен для общего и местного нагрева.

Механизмы для удаления отливки из кокиля. При раскрытии кокиля отливка должна оставаться в одной из его половин, желательно в подвижной, чтобы использовать ее движение для выталкивания отливки. Поэтому выполняют на одной стороне отливки меньшие, а на другой большие уклоны, специальные технологические приливы и предусматривают несимметричное расположение литниковой системы в кокиле (целиком в одной половине кокиля). При изготовлении крупных отливок должно быть обеспечено удаление отливки из обеих половин кокиля. Отливки из кокиля удаляются выталкивателями, которые располагают на неответственных поверхностях отливки или литниках равномерно по периметру отливки, чтобы не было перекоса и заклинивания ее в кокиле. Выталкиватели возвращаются в исходное положение пружинами (небольшие кокили) или контролкаталями.

## Материалы для изготовления кокилей.

Требования, предъявляемые к материалам, применяемым для изготовления кокилей:

В процессе эксплуатации в кокиле возникают значительные термические напряжения вследствие чередующихся резких нагревов при заливке и затвердевании отливки и охлаждений при раскрытии кокиля и извлечении отливки, нанесении на рабочую поверхность огнеупорного покрытия. Кроме знакопеременных термических напряжений под действием переменных температур в материале кокиля могут протекать сложные структурные изменения, химические процессы. Поэтому материалы для кокиля, особенно для его частей, непосредственно соприкасающихся с расплавом, должны отвечать следующим требованиям:

- хорошо противостоят термической усталости,
- иметь высокие механические свойства и минимальные структурные превращения при температурах эксплуатации,
- обладать повышенной ростоустойчивостью и окалиностойкостью,
- иметь минимальную диффузию отдельных элементов при циклическом воздействии температур,
- хорошо обрабатываться,
- быть недефицитными и недорогими.

Таблица – Материалы для изготовления кокилей

СЧ20, СЧ25	кокили для мелких и средних отливок из алюминиевых, магниевых, медных сплавов, чугуна; кокили с воздушным и водовоздушным охлаждением
ВЧ42, ВЧ45	Кокили для мелких, средних и крупных отливок из чугунов: серого, высокопрочного, ковкого; кокили с воздушным и водовоздушным охлаждением
Стали 10, 20, СтЗ, стали 15Л-П, 15ХМЛ	Кокили для мелких, средних, крупных и особо крупных отливок из чугуна, стали, алюминиевых, магниевых, медных сплавов
Медь и ее сплавы, легированные стали и сплавы с особыми свойствами	Вставки для интенсивного охлаждения отдельных частей отливок; тонкостенные водоохлаждаемые кокили; массивные металлические стержни для отливок из различных сплавов
АЛ9, АЛ11	Водоохлаждаемые кокили с анодированной поверхностью для мелких отливок из алюминиевых, медных сплавов, чугуна

Наиболее широко для изготовления кокилей применяют серый и высокопрочный чугуны марок СЧ20, СЧ25, ВЧ42, так как эти материалы в достаточной мере удовлетворяют основным требованиям и сравнительно дешевы. Эти чугуны должны иметь ферритно-перлитную структуру. Графит в серых чугунах должен иметь форму мелких изолированных включений. В этих чугунах не допускается присутствие свободного цементита, так как при нагревах кокиля

происходит распад цементита с изменением объема материала, в результате в кокиле возникают внутренние напряжения, способствующие короблению, образованию сетки разгара, снижению его стойкости. В состав таких чугунов для повышения их стойкости вводят до 1% никеля, меди, хрома, а содержание вредных примесей серы и фосфора должно быть минимальным. Например, для изготовления кокилей с высокой теплонагруженностью рекомендуется серый чугун следующего химического состава, мас. %: 3,0—3,2 C; 1,3—1,5 Si; 0,6—0,8 Mn; 0,7—0,9 Cu; 0,3—0,7 Ni; 0,08—0,1 Ti; до 0,12 S; до 0,1 P.

Для изготовления кокилей также используют низкоуглеродистые стали 10, 20, а также стали, легированные хромом и молибденом, например 15ХМЛ. Эти материалы обладают высокой пластичностью, поэтому хорошо сопротивляются растрескиванию при эксплуатации. Кокили для мелких отливок из чугуна и алюминиевых сплавов иногда изготавливают из алюминиевых сплавов АЛ9 и АЛ11. Такие кокили анодируют, в результате чего на их рабочей поверхности образуется тугоплавкая (температура плавления около 2273 К) износостойкая пленка окислов алюминия толщиной до 0,4 мм. Высокая теплопроводность алюминиевых стенок кокиля способствует быстрому отводу теплоты от отливки.

Такие кокили обычно делают водоохлаждаемыми.

Из меди делают отдельные вставки, вкладывая в местах, где необходимо ускорять теплоотвод от отливки и тем самым управлять процессом ее затвердевания.

Стержни простой конфигурации изготавливают из конструкционных углеродистых сталей, а сложной конфигурации — из легированных сталей, для прочих деталей — осей, валов, болтов и т. д. — используют конструкционные стали.

Таблица – Материалы для изготовления деталей кокилей

Детали кокиля	Условия работы	Материал
Стержни, штыри, обратные толкатели, тяги	Соприкасаются с жидким металлом, работают на истирание	Сталь 45
Стержни, вставки, выталкиватели с резкими переходами в сечениях	Оформляют глубокие полости отливок и находятся под действием высоких температур	30ХГС, 35ХГСА, 35ХНМ, 4Х5МФС
Выталкиватели	Испытывают ударные нагрузки	У8А; У10А
Оси, валы, эксцентрики	Работают на истирание	Сталь 25 (подвергают цементации)

### Изготовление кокилей.

Кокили небольших размеров для мелких отливок из алюминиевых, магниевых, цинковых, оловянных сплавов изготавливают литыми из чугуна, а также часто из поковок обработкой резанием. Рабочие полости и элементы литниковой системы в данном случае получают электрофизической или электрохимической обработкой.

Более крупные кокили - выполняют литыми. При отливке рабочих стенок кокилей особое внимание обращают на то, чтобы заготовки не имели внутренних напряжений, что обеспечивается технологией литья, а также снижением уровня остаточных напряжений соответствующей термической обработкой.

### **Стойкость кокилей и пути ее повышения.**

Стойкость кокилей измеряется числом отливок требуемого, качества, полученных в данном кокиле до выхода его из строя.

Таблица - Приблизительная стойкость кокилей

Заливаемый сплав	Отливки	Материал кокиля	Стойкость кокиля (число отливок)
Медные	Мелкие	Чугун	1000—10000
	Средние		1000—8000
	Мелкие	Сталь	1 000— 1 500
	Средние		500 - 1000
Алюминиевые, магниевые, цинковые	Мелкие	Чугун	Сотни тысяч
	Средние		Десятки тысяч
	Крупные		Несколько тысяч

*Увеличение стойкости кокиля при литье чугуна, стали, медных сплавов позволяет повысить эффективность производства отливок благодаря снижению затрат на изготовление кокиля, расширить область применения этого перспективного технологического процесса.*

Основной причиной разрушения кокиля являются сложные термохимические процессы, вызываемые неравномерным циклическим нагревом и охлаждением рабочей стенки кокиля во всех трех ее измерениях (по толщине, длине, ширине). Это приводит к появлению неоднородного, изменяющегося с изменением температуры поля напряжений в стенке кокиля, вызывающего ее упругие и пластические деформации. Последние приводят к остаточным деформациям и напряжениям.

При каждом цикле нагружения (заливка — выбивка) деформация сжатия в кокиле сменяется деформацией растяжения, что приводит к термической усталости материала кокиля. Термические напряжения возникают также вследствие структурных превращений и роста зерна материала кокиля, протекающих тем интенсивнее, чем выше температура его нагрева.

Способность кокиля выдерживать термические напряжения зависит от механических свойств его материала при температурах работы кокиля. Эти свойства резко снижаются при нагреве. *Например, предел текучести стали 15 при нагреве до 900 К уменьшается в 3 раза.*

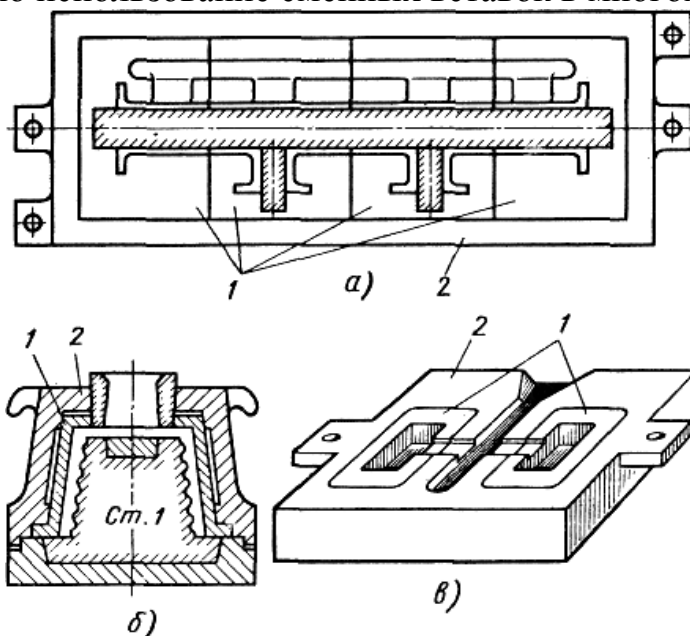
Уровень возникающих в кокиле напряжений зависит также от конструкции кокиля — толщины его стенки, конструкции ребер жесткости и т. д. *Например, тонкие ребра жесткости большой высоты приводят к появлению трещин на рабочей поверхности кокиля, а низкие ребра могут не обеспечить жесткость кокиля и привести к короблению.*

### Методы повышения стойкости кокилей:

Стойкость кокилей обеспечивается конструктивными, технологическими и эксплуатационными методами.

**1. Конструктивные методы** основаны на правильном выборе материалов для кокилей в зависимости от преобладающего вида разрушения, разработки рациональной конструкции кокиля. Основным конструктивным методом является **Использование сменных вставок, оформляющих рабочую полость кокиля.**

Термические напряжения, приводящие к снижению стойкости кокиля, являются следствием нереализованной термической деформации: менее нагретые части кокиля (слои рабочей стенки, прилегающие к внешней нерабочей поверхности, ребра жесткости) препятствуют расширению нагреваемой металлом отливки части кокиля. Уменьшить напряжения возможно, если термическая деформация нагретой части происходит беспрепятственно. Этого можно достичь, если расчленить рабочую стенку кокиля на отдельные элементы (вставки) в продольном или поперечном направлениях. Тогда вследствие зазоров между элементами кокиля каждый из них при нагреве расширяется свободно. При этом, возникающие во вставке напряжения снижаются, стойкость кокиля возрастает. Наиболее эффективно использование сменных вставок в многоместных кокилях.



Кокиль с расчленением стенки:

*а* — поперечным; *б* — продольным; *в* — вставка в кокиль; 1 — вставки; 2 — корпус

**2. Технологические методы** направлены на повышение стойкости поверхностного слоя рабочей полости, имеющего наибольшую температуру при работе кокиля. Для этого используют армирование, поверхностное легирование, алитирование, силицирование, термическую обработку различных видов, наплавку, напыление на рабочую поверхность материалов, повышающих стойкость кокиля. Каждый из этих способов предназначен для повышения стойкости кокиля к разрушениям определенного вида.

**3. Эксплуатационные методы** повышения стойкости кокилей основаны на строгой регламентации температурного режима кокиля, зависящего от температуры кокиля перед заливкой, температуры заливаемого металла, состава, свойств и состояния огнеупорного покрытия на его рабочей поверхности, темпа (частоты

заливок) работы кокиля. Перед заливкой кокиль нагревают или охлаждают (если он был нагрет) до оптимальной для данного сплава и отливки температуры. Начальная температура кокиля зависит от темпа работы кокиля. Производственные данные показывают, что для данного конкретного кокиля существует оптимальный темп работы, при котором стойкость его наибольшая (зависимость стойкости, выраженной в количествах заливок, от темпа работы кокиля, выраженного в числе заливок в час).

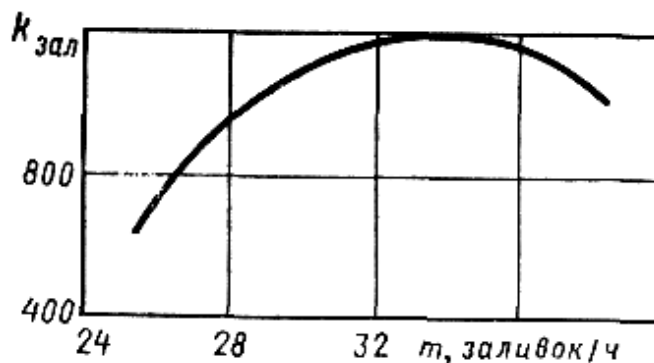


Рис. - . Зависимость стойкости  $k$  кокиля от темпа его работы  $m$

На стойкость кокиля оказывает влияние температура заливаемого металла. Повышение температуры металла выше требуемой по технологии для данной отливки приводит к снижению стойкости кокиля и ухудшению качества отливки - усадочным раковинам, рыхлотам, трещинам.

Стойкость кокиля может быть повышена при надлежащем уходе за ним при эксплуатации. Это обеспечивается системой планово-предупредительного ремонта (ППР).

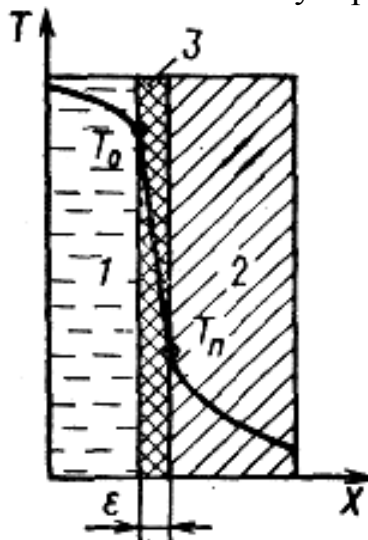
### **Технологические режимы литья в кокиль.**

*Почти всегда, за исключением особых случаев, требуемое качество отливки достигается при условии, если литейная форма заполнена расплавом без несплавов, газовых и неметаллических включений в отливке, а при затвердевании в отливке не образовалось усадочных дефектов — раковин, пористости, трещин — и ее структура и механические свойства отвечают заданным. Из теории формирования отливки известно, что эти условия достижения качества во многом зависят от того, насколько данный технологический процесс обеспечивает выполнение одного из общих принципов получения качественной отливки — ее направленное затвердевание и питание. Направленное затвердевание и питание усадки отливки обеспечивается комплексом мероприятий: рациональной конструкцией отливки, ее расположением в форме, конструкцией ЛПС, технологическими режимами литья, конструкцией и свойствами материала формы и т. д., назначаемых технологом с учетом свойств сплава и особенностей взаимодействия формы с расплавом.*

При литье в кокиль главная особенность технологии — высокая интенсивность охлаждения расплава и отливки. Это затрудняет заполнение формы

расплавом, ускоряет охлаждение его в форме, что не всегда благоприятно влияет на качество отливок, особенно чугунных.

Интенсивность теплового взаимодействия между кокилем и расплавом или отливкой возможно регулировать в широких пределах. Обычно это достигается созданием определенного термического сопротивления на границе контакта: отливка (расплав) 1 — рабочая поверхность полости кокиля 2. Для этого на поверхности полости кокиля наносят слой 3 огнеупорной облицовки или краски.



- 1 — отливка (расплав);
- 2 — стенка кокиля;
- 3 — огнеупорное покрытие (облицовка).

Рис. - Схема распределения температур в системе отливка—кокиль

Благодаря меньшей по сравнению с металлом кокиля теплопроводности  $\lambda_{кр}$  огнеупорного покрытия между отливкой и кокилем возникает термическое сопротивление переносу теплоты:

$$1/\beta = \varepsilon / \lambda_{кр} ,$$

где  $\beta$  - коэффициент тепловой проводимости огнеупорного покрытия;  
 $\varepsilon$  - толщина слоя огнеупорного покрытия;  
 $\lambda_{кр}$  —теплопроводность огнеупорного покрытия.

Огнеупорное покрытие уменьшает скорость  $q$  отвода теплоты от расплава и отливки, зависящую от тепловой проводимости огнеупорного покрытия и разности между температурой  $T_0$  поверхности отливки и температуры  $T_n$  поверхности кокиля:

$$q = \beta(T_0 - T_n) .$$

В соответствии с необходимой скоростью отвода теплоты от различных мест отливки, толщину  $\varepsilon$  и теплопроводность  $\lambda_{кр}$  огнеупорного покрытия можно делать разными в различных частях кокиля, создавая условия для направленного затвердевания отливки, регулируя скорость ее охлаждения в отдельных местах, а следовательно, ее структуру, плотность, механические свойства.



**Огнеупорное покрытие** уменьшает скорость нагрева рабочей поверхности кокиля; благодаря термическому сопротивлению огнеупорного покрытия температура рабочей поверхности будет ниже, чем без покрытия. Это снижает разность температур по толщине кокиля, уменьшает температурные напряжения в нем и повышает его стойкость.

**Требования, предъявляемые к огнеупорному покрытию на поверхности кокиля:**

- покрытие должно иметь заданную теплопроводность,
- хорошо наноситься и удерживаться на поверхности формы,
- противостоять резким колебаниям температуры,
- не выделять газов при нагреве, способных растворяться в отливке или создавать на ее поверхности газовые раковины.

Покрытия готовят из огнеупорных материалов, связующих, активизаторов и стабилизаторов.

Таблица - Составы огнеупорных покрытий (красок) для кокилей

Назначение	Компоненты	Содержание, мас. %	Коэффициент теплопроводности
Для отливок из алюминиевых сплавов	1. Окись цинка	15	0,41
	Асбест прокаленный (пудра)	5	
	Жидкое стекло	3	
	Вода	77	
	2.* Асбест прокаленный	8,7	0,27
	Мел молотый	17,5	
	Жидкое стекло	3,5	
	Вода	70,3	
Для отливок из магниевых сплавов	3. Тальк	18	0,39
	Борная кислота	2,5	
	Жидкое стекло	2,5	
	Вода	77	
Для отливок из чугуна	4. Пылевидный кварц	10... 15	0,58
	Жидкое стекло	3 - 5	
	Вода	87...80	
	5.* Молотый шамот	40	0,25
	Жидкое стекло	6	
	Вода	54	
	Марганцевокислый калий 0,05 % (сверх 100 %)		
Для отливок из стали	6. Огнеупорная составляющая (циркон, карборунд, окись хрома)	30...40	0,3
	Жидкое стекло	5...9	
	Борная кислота	0,7...0,8	

	Вода	остальное до плотн. 1,1-1,2 г/см <sup>3</sup>
--	------	---

\* Составы применяют для покрытия поверхности литниковых каналов и выпоров.

В качестве огнеупорных материалов применяют пылевидный кварц, шамотный порошок, окислы и карбиды металлов, тальк, графит, асбест. Связующие для покрытий — жидкое стекло, огнеупорная глина, сульфитный щелок.

Активизаторы применяют для улучшения схватывания с поверхностью кокиля. В качестве активизаторов используют для шамотных и асбестовых покрытий буру ( $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ ) и борную кислоту ( $\text{H}_3\text{BO}_4$ ); для маршалитовых - кремнефтористый натрий ( $\text{Na}_2\text{SiF}_6$ ), для тальковых — буру, борную кислоту или марганцевокислый калий. Перед приготовлением огнеупорные материалы просеивают через сито 016...01.

Стабилизаторы применяют для того, чтобы уменьшить седиментацию огнеупорных составляющих покрытия. Чаще всего это поверхностно-активные вещества ОП5, ОП7.

При литье в кокиль чугуна для устранения отбела в отливках на огнеупорное покрытие наносят копоть (сажу) ацетиленового пламени.

Толщину слоя огнеупорного покрытия контролируют измерительными пластинами, проволочками, прямым измерением, электроконтактным способом. При прямом измерении толщину слоя облицовки определяют микрометром: измеряют расстояние от базовой поверхности 1 до поверхностей 2 и 3, соответственно не покрытой и покрытой облицовкой. Разность дает толщину слоя облицовки.

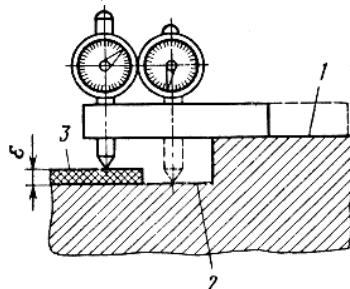


Рис. - Измерение толщины краски или облицовки на кокиле

Схема распределения температур в системе отливка — покрытие — форма практически реализуется только для поверхностей отливки, которые при усадке образуют плотный контакт с кокилем, между охватываемыми поверхностями отливки и кокилем образуется зазор, изменяющийся по мере усадки отливки. Этот зазор заполнен воздухом и газами, выделяющимися из покрытия. Образование зазора приводит к увеличению термического сопротивления переносу теплоты от отливки в кокиль. Поэтому со стороны внутренних стенок отливка охлаждается интенсивнее, чем со стороны внешних. В результате смещается зона образования осевой пористости отливки к наружной ее стенке, что следует учитывать при разработке системы питания усадки отливки.

Рассмотренное явление используют для устранения отбела в поверхностных случаях чугунных отливок. Для этого после образования в отливке твердой корочки достаточной прочности кокиль слегка раскрывают так, чтобы между поверхностями отливки и кокиля образовался воздушный зазор. Тогда теплота затвердевания

внутренних слоев отливки, проходя через затвердевающую наружную корку, разогревает ее и в результате происходит «самоотжиг» отливки — она не имеет отбела.

Скорость отвода теплоты от расплава и отливки зависит от разницы между температурами поверхностей отливки  $T_0$  и кокиля  $T_n$ . С повышением температуры заливаемого расплава возрастает температура  $T_0$  и скорость отвода теплоты от отливки; с повышением температуры  $T_n$  скорость отвода теплоты от отливки уменьшается. Поэтому на практике широко используют регулирование скорости отвода теплоты от расплава и отливки, изменяя температуры заливаемого сплава или кокиля перед заливкой. Однако чрезмерное снижение температуры заливаемого сплава приводит к ухудшению заполняемости кокиля. Повышение температуры кокиля увеличивает опасность приваривания отливки к кокилю, особенно при литье чугуна и стали, снижает стойкость кокиля.

Практически установлено, что оптимальная температура кокиля перед заливкой зависит от заливаемого сплава, толщины стенки отливки и ее конфигурации.

Температура заливки расплава в кокиль зависит от его химического состава, толщины стенки отливки, способа ее питания при затвердевании.

### **Особенности литья в кокиль отливок из алюминиевых сплавов**

*Согласно ГОСТу литейные алюминиевые сплавы разделены на пять групп. Наилучшими литейными свойствами обладают сплавы I группы — силумины. Они имеют хорошую жидкотекучесть, небольшую (0,9—1%) линейную усадку, стойки к образованию трещин, достаточно герметичны. Это сплавы марок АЛ2, АЛ4, АЛ9, их широко используют в производстве. Однако они склонны к образованию грубой крупнозернистой эвтектики в структуре отливки и растворению газов.*

При литье силуминов (сплавы I группы) в кокиль структура отливок вследствие высокой скорости кристаллизации получается мелкозернистой. Основной недостаток сплавов I группы при литье в кокиль — склонность к образованию рассеянной газовой пористости в отливках.

Сплавы II группы (медистые силумины) также нередко отливают в кокиль. Эти сплавы обладают достаточно хорошими литейными свойствами и более высокой прочностью, чем силумины, менее склонны к образованию газовой пористости в отливках.

Сплавы III — V групп имеют худшие литейные свойства — пониженную жидкотекучесть, повышенную усадку (до 1,3%), склонны к образованию трещин, рыхлот и пористости в отливках. Получение отливок из этих сплавов требует строгого соблюдения технологических режимов, обеспечения хорошего заполнения формы, питания отливок при затвердевании.

Все литейные алюминиевые сплавы в жидком состоянии интенсивно растворяют газы и окисляются. При затвердевании сплава газы выделяются из раствора и образуют газовую и газоусадочную пористость, которая снижает механические свойства и герметичность отливок. Образующаяся на поверхности расплава пленка окислов при заполнении формы может разрушаться и попадать в тело отливки, снижая ее механические свойства и герметичность. При высоких скоростях движения расплава в литниковой системе пленка окислов, перемешиваясь

с воздухом, образует пену, попадание которой в полость формы приводит к дефектам в теле отливок.

**Влияние кокиля на свойства отливок.** Интенсивное охлаждение расплава и отливки в кокиле увеличивает скорость ее затвердевания, что благоприятно влияет на структуру — измельчается зерно твердого раствора, эвтектики и вторичных фаз. Структура силуминов, отлитых в кокиль, близка к структуре модифицированных сплавов; снижается опасность появления газовой и газоусадочной пористости, уменьшается вредное влияние железа и других примесей. Это позволяет допускать большее содержание железа в алюминиевых отливках, получаемых в кокилях, по сравнению с отливками в песчаные формы. Все это способствует повышению механических свойств отливок, их герметичности.

Кокили для литья алюминиевых сплавов применяют массивные, толстостенные. Такие кокили имеют высокую стойкость и большую тепловую инерцию: после нагрева до рабочей температуры они охлаждаются медленно. Это позволяет с большей точностью поддерживать температурный режим литья и получать тонкостенные отливки. Для отливок сложной конфигурации используют кокили, имеющие системы нагрева или охлаждения отдельных частей. Это дает возможность обеспечить направленное затвердевание и питание отливок. Для получения точных отливок рабочую полость кокиля обычно выполняют обработкой резанием.

Положение отливки в форме должно способствовать ее направленному затвердеванию: топкие части отливки располагают внизу, а массивные сверху, устанавливая на них прибыли и питающие выпоры.

Литниковая система должна обеспечивать спокойное, плавное поступление расплава в полость формы, надежное улавливание окисных плен, шлаковых включений и предотвратить их образование в каналах литниковой системы и полости кокиля, способствовать направленному затвердеванию и питанию массивных узлов отливки.

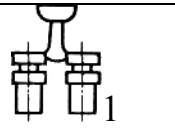
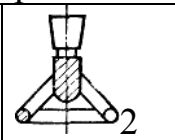
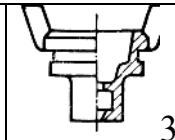
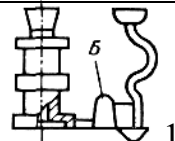

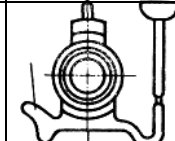
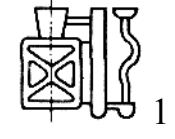
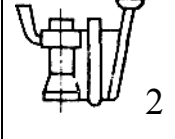
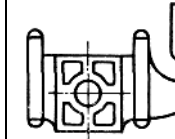
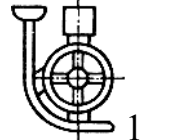
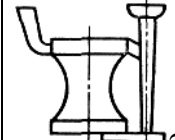

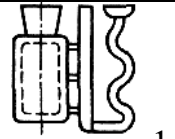
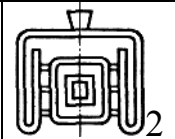
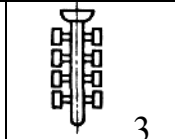
Используют литниковые системы с подводом расплава сверху, снизу, сбоку, комбинированные и ярусные (рис.).

Литниковые системы с верхним подводом используют для невысоких отливок типа втулок и колец (I, 1—3). Такие литниковые системы просты, позволяют достичь высокого коэффициента выхода годного. Заливка с кантовкой кокилей с такой литниковой системой обеспечивает плавное заполнение формы и способствует направленному затвердеванию отливок.

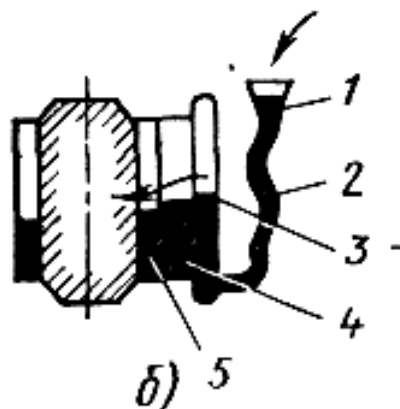
Литниковые системы с подводом расплава снизу используют для отливок корпусов, высоких втулок, крышек (II, 1—3). Для уменьшения скорости входа расплава в форму стояк делают зигзагообразным (II, 1), наклонным (II, 2). Для задержания шлака устанавливают шлакозадерживающие бобышки Б (II, 1); для удаления первых охлажденных порций расплава, содержащих шлаковые включения, используют промывники П (II 3).

Литниковые системы с подводом расплава сбоку через щелевой литник (III, 1—3), предложенные акад. А. А. Бочваром и проф. А. Г. Спасским, сохраняют основные преимущества сифонной заливки и способствуют направленному затвердеванию отливки. На практике используют несколько вариантов таких систем. Стояки выполняют также наклонными или сложной формы, так называемые

гусиные шейки. Эти стояки снижают скорость, исключают захват воздуха, образование шлаков и пены в литниковой системе, обеспечивают плавное заполнение формы расплавом. При заливке крупных отливок обязательным элементом литниковой системы является вертикальный канал, являющийся коллектором.

I			
II			
III			
IV			
V			

#### Работа щелевой литниковой системы



Расплав из чаши 1 поступает в зигзагообразный стояк 2, а из него — в вертикальный канал-колодец 3 и вертикальный щелевой питатель 4. Соотношение площадей поперечных сечений элементов литниковой системы подбирают так, чтобы уровень расплава в форме во время ее заполнения был ниже уровня в канале 3; верхние порции расплава должны сливаться в форму и замещаться более горячим расплавом. Размеры канала 3 и питателя 4 назначают сообразно с толщиной стенки отливки 5; чтобы избежать усадочных дефектов в отливке, расплав в канале 3 и

питателе 4 должен затвердевать позже отливки. Недостаток литниковой системы - большой расход металла на литники и сложность отделения их от отливки.

Литниковые системы с комбинированным подводом используют для сложных отливок (IV, 1—3). Нижний питатель способствует спокойному заполнению формы, а верхний подает наиболее горячий расплав под прибыль, улучшая ее питающее действие.

Ярусные литниковые системы используют для улучшения заполнения формы тонкостенных сложных или мелких отливок (V, 1—3).

Технологические режимы литья назначают в зависимости от свойств сплава, конфигурации отливки и предъявляемых к ней требований.

Для регулирования скорости отвода теплоты от различных частей отливки толщину и свойства огнеупорных покрытий в разных частях кокиля часто делают различными. Для окраски в этом случае используют трафареты. Поверхности каналов литниковой системы покрывают более толстым слоем красок с пониженной теплопроводностью, а поверхности прибыльных частей иногда оклеивают тонколистовым асбестом (клеем служит жидкое стекло).

Температуру заливки расплава в кокиль назначают в зависимости от химического состава сплава, толщины стенки отливки и ее размеров. Для силуминов типа АЛ2, АЛ4, АЛ9 ее принимают равной 700...750°С, для широкоинтервальных сплавов типа АЛ19, обладающих пониженной жидкотекучестью, — равной 720—780°С.

Продолжительность выдержки отливки в кокиле назначают с учетом ее размеров и массы. Обычно отливки охлаждают в форме до температуры 380...400°С.

### **Особенности литья в кокиль отливок из магниевых сплавов**

*Магниевые литейные сплавы по сравнению с алюминиевыми обладают худшими литейными свойствами: пониженной жидкотекучестью, большой (1,2—1,5%) усадкой, склонностью к образованию горячих трещин, пониженной герметичностью, высокой склонностью к окислению в жидком и твердом состоянии, способностью воспламеняться в жидком состоянии. Магниевые сплавы имеют большой интервал кристаллизации, склонны к растворению газов и поэтому в отливках часто образуются микрорыхлоты. Отливки из магниевых сплавов склонны к короблению при затвердевании и термической обработке.*

Наибольшее применение для литья в кокиль нашли сплавы МЛ5 (системы Mg — Al — Zn), МЛ6 (системы Mg — Al — Zn), МЛ12 (системы Mg — Zn — Zr), а также МЛ10.

*Влияние кокиля на свойства отливок.* Кокиль практически не вступает в химическое взаимодействие с магниевым расплавом, что уменьшает окисляемость сплава, улучшает качество отливок. Пониженная жидкотекучесть сплавов вызывает необходимость заливать их в кокили при повышенной температуре, особенно при изготовлении тонкостенных отливок. Это приводит к повышению окисляемости сплава, вероятности попадания окислов в отливку, увеличению размеров зерна в структуре, ухудшению механических свойств отливки.

Для предотвращения горячих трещин в отливках, обусловленных повышенной усадкой сплавов, необходимо осуществлять «подрыв» неподатливых металлических стержней или использовать песчаные стержни; модифицирование сплавов церием и висмутом повышает трещиностойкость сплавов.

Положение отливки из магниевого сплава в кокиле имеет особенно важное значение для направленного ее затвердевания и питания. Для питания отливки обязательно используют прямые или отводные прибыли; для лучшей их работы прибыли выполняют в стержневых, асбестовых или керамических вставках.

Литниковые системы для магниевых сплавов расширяющиеся:  $f_c:f_k:f_n = 1:2:3$ . Для крупных и сложных отливок  $f_c:f_k:f_n = 1:4:6$ .

Объем прямой или отводной прибыли определяют из соотношения  $V_{пр} = (2-2,5) V_{п.о}$ , где  $V_{п.о}$  — объем питаемого узла отливки. Способы подвода расплава в кокиль и конструкции литниковых систем такие же как и для алюминиевых сплавов. Особое внимание следует обращать на рассредоточенный подвод расплава в рабочую полость. Это вызвано пониженной жидкотекучестью магниевых сплавов и их малой теплопроводностью. Последнее свойство при сосредоточенном подводе приводит к замедленному охлаждению отливки в месте подвода питателя и образованию в этом месте усадочных дефектов - пористости, рыхлот, трещин.

Технологические режимы литья магниевых сплавов в кокиль назначают с учетом их литейных свойств, конфигурации отливки и предъявляемых к ней требований.

Температура заливки магниевых сплавов зависит от химического состава, но обычно на  $100...150^{\circ}\text{C}$  выше линии ликвидуса, что вызвано их пониженной жидкотекучестью. Обычно температура заливки составляет  $730...750^{\circ}\text{C}$  для тонкостенных отливок и  $680-710^{\circ}\text{C}$  для массивных, толстостенных.

### **Особенности литья в кокиль отливок из медных сплавов**

Литьем в кокиль изготавливают отливки из латуней, бронз, а также чистой меди.

*Литейные свойства.* Латунь имеют обычно небольшой интервал кристаллизации, хорошую жидкотекучесть, но большую усадку;  $1,5—2,5\%$  в зависимости от химического состава. Латунь мало склонны к образованию усадочной пористости, но, как и все медные сплавы, интенсивно, растворяют водород, особенно кремнистые латуни, отливки из которых часто поражаются газовой пористостью.

Бронзы оловянные имеют высокую жидкотекучесть, повышенную усадку ( $1,4...1,6\%$ ), большой интервал кристаллизации, а потому и повышенную склонность к образованию усадочной пористости в отливках. Алюминиевые бронзы имеют небольшой интервал кристаллизации, большую усадку ( $1,7—2,5\%$ ); отливки из них получаются плотными, но они склонны к образованию окисных плен из-за повышенной окисляемости содержащегося в них алюминия. Плены, попадающие в отливку, снижают ее механические свойства и герметичность. Кремнистые бронзы, аналогично кремнистым латуням, склонны к образованию газовой пористости. Свинцовые бронзы склонны к ликвации, ухудшающей свойства отливок.

Чистая медь имеет низкую жидкотекучесть, высокую усадку ( $1,8—2\%$ ), интенсивно растворяет газы, которые при затвердевании и отливки образуют газовую пористость и раковины в ней. При плавке медь интенсивно окисляется.

Окислы меди ухудшают ее литейные свойства, а также механические свойства и электропроводность отливок.

Влияние кокиля на качество отливок. Высокая скорость охлаждения и затвердевания при литье в кокиль благоприятно влияет на качество отливок: повышаются их механические свойства, герметичность, плотность, улучшается структура. Повышение скорости охлаждения способствует приближению характера затвердевания широкоинтервальных сплавов к последовательному. Поэтому, например, отливки из оловянных бронз в кокиль имеют большую плотность, чем при литье в песчаные формы. Отливки из кремнистых латуней и бронз меньше поражены газовой пористостью, так как высокая скорость охлаждения расплава препятствует выделению газов из раствора. Повышенная скорость затвердевания отливок из свинцовых бронз уменьшает ликвацию, способствует измельчению включений свинца, что повышает антифрикционные свойства отливок.

Отливки из медных сплавов при литье в кокиль часто поражены трещинами, так как кокиль неподатлив. Это затрудняет получение в кокилях сложных тонкостенных отливок. Главная мера предупреждения этих дефектов — хорошее раскисление и рафинирование сплавов — освобождение их от окислов, сильно влияющих на трещиностойкость сплавов, а также создание условий для направленного затвердевания и питания отливки.

Положение отливки в кокиле должно обеспечивать направленное затвердевание и питание ее при усадке. Поэтому располагают массивные ее части вверх и на них устанавливают прибыли.

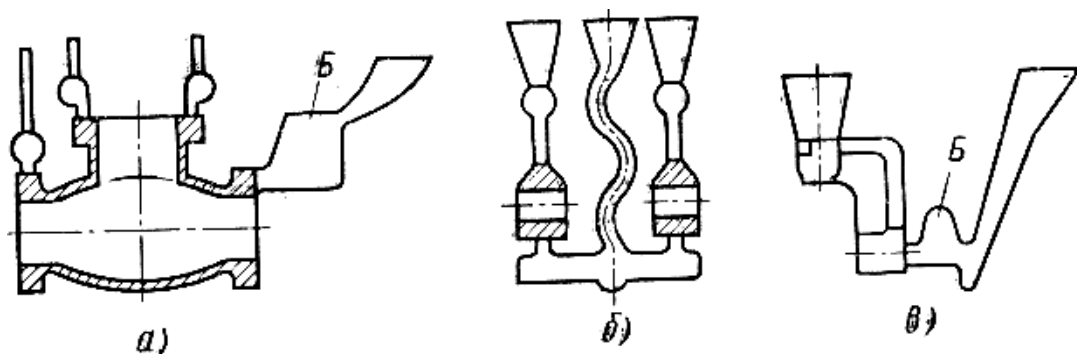


Рис. - Литниковые системы для медных сплавов

Литниковая система для медных сплавов должна обеспечивать плавное заполнение формы и питать отливку в процессе ее затвердевания. Поэтому литники делают большого сечения, одновременно выполняющими функции прибылей. Между стояком и питателем устанавливают питающие бобышки Б, в которых происходит также частичное шлакозадержание. Для отливок из алюминиевых, марганцевых и кремнистых бронз используют нижний подвод расплава через зигзагообразные и наклонные стояки (рис. б, в), шлакоуловители и плоские щелевидные питатели. Тонкостенные мелкие отливки заливают сверху (рис. а), обычно с подводом расплава в питающую бобышку Б. Для отливок из медных сплавов применяют как расширяющиеся, так и суживающиеся литниковые системы. Для сплавов, склонных к образованию плен (алюминиевых, марганцевых бронз),



используют расширяющиеся литниковые системы ( $f_{п}:f_{л.х}:f_{с}=3:2:1$ ), а для латуни — суживающиеся ( $f_{п}:f_{л.х}:f_{с}=1:2,5:3,5$ ).

Технологические режимы назначают в зависимости от литейных свойств сплава, конфигурации отливки и требований к ней.

В состав красок рабочих поверхностей кокилей вводят вещества, способные при взаимодействии с расплавом испаряться и газифицироваться с образованием восстановительной среды, предотвращающей окисление расплава. Обычно это масла, графит, а также органические лаки, терморезистивные смолы. Такие покрытия наносят на поверхность кокиля перед каждой заливкой или через две-три заливки.

Для получения отливок высокого качества из свинцовых бронз необходимо обеспечить высокую скорость затвердевания. Это достигается охлаждением кокилей водой, использованием для кокилей высокотеплопроводных материалов. Температура заливки медных сплавов зависит от химического состава и конфигурации отливки. Оловянные бронзы заливают при температурах 1150—1200°C; алюминиевые бронзы — при 1100—1160°C. Массивные отливки заливают при температурах, близких к нижнему пределу рекомендованных, тонкостенные — к верхнему.

Температуру выбивки отливок из кокилей назначают в зависимости от химического состава сплава, толщины стенки отливки и ее конфигурации.

#### **Финишные операции и контроль отливок из цветных сплавов, полученных литьем в кокиль**

Отливки из алюминиевых, магниевых, медных сплавов контролируют дважды: до отрезки литников и прибылей (предварительный контроль) и после. Литники и прибыли отрезают ленточными и дисковыми пилами, а в массовом производстве — на специальных станках. От мелких отливок из латуней литники часто обрубает в штампах на прессах. При отрезке литников от отливок из магниевых сплавов должны быть приняты особые меры для удаления стружки, способной к самовозгоранию. Режимы термической обработки назначают, руководствуясь химическим составом, конфигурацией отливки и требованиями технических условий. После этого проводят повторный контроль отливок, проверяя их соответствие требованиям технических условий.

Дефекты отливок из цветных сплавов и меры их предупреждения

Общие характерные дефекты отливок при литье в кокиль следующие:

1) недоливы и неслитины. Образуются при низкой температуре расплава и кокиля перед заливкой, недостаточной скорости заливки, большой газотворности стержней и красок и плохой вентиляции кокиля;

2) усадочные дефекты (раковины, утяжины, пористость). Образуются из-за нарушений направленного затвердевания и недостаточного питания массивных узлов отливки, чрезмерно высокой температуры расплава и кокиля; местного перегрева кокиля, нерациональной конструкции литниковой системы;

3) трещины появляются вследствие несвоевременного подрыва металлического стержня или вставки, высокой температуры заливки, нетехнологичной конструкции отливки;

4) шлаковые включения образуются при использовании загрязненных шихтовых материалов, недостаточном рафинировании перед заливкой, неправильной работе литниковой системы;

5) газовая пористость образуется при нарушении хода плавки (использование загрязненных влагой и маслом шихт, чрезмерно высокого перегрева, недостаточного рафинирования или раскисления сплава).

Специфические дефекты отливок из магниевых сплавов — это дефекты усадочного происхождения — пористость, трещины, рыхлоты,— обусловленные широким температурным интервалом затвердевания этих сплавов. Для устранения этих дефектов требуется доводка и точное соблюдение технологических режимов — температуры расплава и кокиля, краски и др. Часто отливки из магниевых сплавов вследствие плохой работы литниковой системы поражены шлаковыми включениями. Это недопустимо, так как приводит к коррозии отливки при ее эксплуатации и хранении. Такие дефекты устраняют тщательной доводкой литниковой системы и ведения процесса плавки.

Специфические дефекты отливок из медных сплавов следующие: газовая пористость при плохом рафинировании и очистке сплава от шлаковых частиц; вторичные окисные плены при литье алюминиевых бронз вследствие разделения потока расплава на струи и окисления его в форме; трещины из-за плохого раскисления сплавов при плавке.

## Тема 2.2 – Литье под давлением

### Сущность процесса ЛПД

Литье под давлением является самым производительным способом изготовления тонкостенных деталей сложной конфигурации в серийном и массовом производстве.

Принцип процесса литья под давлением основан на принудительном заполнении рабочей полости металлической пресс-формы расплавом и формировании отливки под действием сил от пресс-поршня, перемещающегося в камере прессования, заполненной расплавом.

Заполнение полости происходит при высокой скорости впуска металла, которая обеспечивает высокую кинетическую энергию, поступающего в форму металла:

$$E = \frac{mv^2}{2} \quad v = \sqrt{2g \frac{p}{\gamma_m}}$$

где **m** - масса расплавленного металла, **v** - скорость металла,  
**p** - давление,  **$\gamma_m$**  - удельная масса металла.

Энергия движения струи при резком замедлении ее скорости в форме до нуля частично переходит в тепловую энергию, повышающую температуру металла и его жидкотекучесть и создает гидродинамическое давление на стенку формы:

$$p = \frac{\gamma_m v^2}{2g}$$

Скорость выпуска при литье под давлением в зависимости от типа отливки и сплава может быть в пределах от 0,5 до 120 м/с. Различают три способа литья под давлением:

1. **Литье с низкими скоростями впуска** (0,5-2,5 м/с), обеспечивающее заполнение формы сплошным ламинарным потоком. Применяют этот способ для изготовления толстостенных отливок из алюминиевых сплавов и латуней.

2. **Литье со средними скоростями впуска** (2-15 м/с), обеспечивающее турбулентное движение расплавленного металла, при котором в результате срыв струй захватываются в поток металла пузырьки воздуха, оттесняемые затвердевающим сплавом к середине отливки. Это создает воздушную пористость, которую удалить почти невозможно, но можно уменьшить под действием высокого давления. Изготавливают при этом отливки средней сложности.

3. **Литье с высокими скоростями впуска** (более 30 м/с), обеспечивает заполнение только в режиме турбулентного течения истока расплава, но и со значительным его распылением, результатом которого является еще больший объем захваченного в полость отливки воздуха, для уменьшения воздушной пористости и в этом случае создают высокое давление [до 500МПа(н/мм<sup>2</sup>)] Этот способ применяют для тонкостенных отливок сложной конфигурации.

### Особенности литья под давлением (ЛПД):

1. В отличие от кокиля, рабочие поверхности пресс-формы, контактирующие с отливкой, не имеют огнеупорного покрытия. Это приводит к необходимости кратковременного заполнения пресс-формы расплавом и действия на кристаллизующую отливку избыточного давления, в сотни раз превосходящего гравитационное.

2. Современный процесс ЛПД, реализуется на специальных гидравлических машинах, обеспечивает высокую производительность изготовления отливок разного назначения (от нескольких десятков до нескольких тысяч в час) с высокими механическими свойствами.

3. Отливки, получаемые ЛПД характеризуются:

- низкой шероховатостью поверхности и размерами, соответствующими или максимально приближенными к размерам готовой детали;
- мелкозернистой структурой и высокими механическими свойствами;
- толщина стенки отливок может быть менее 1,0 мм, а масса - от нескольких граммов до десятков килограммов (*пример - одна из самых сложных и уникальных изготавливаемых отливок методом ЛПД - V-образный блок цилиндров автомобильного двигателя – имеет массу около 23 кг*).

### Требования к литейным сплавам для литья под давлением:

1. Достаточная прочность при высоких температурах, чтобы отливка не ломалась при выталкивании.
2. Минимальная усадка.
3. Высокая жидкотекучесть при небольшом перегреве.
4. Небольшой интервал кристаллизации
5. Этим требованиям удовлетворяют сплавы на основе цинка, алюминия, магния и меди.

В зависимости от конструкции камеры прессования различают машины ЛПД с холодной (рис. 1) и горячей (рис. 2) камерами прессования.

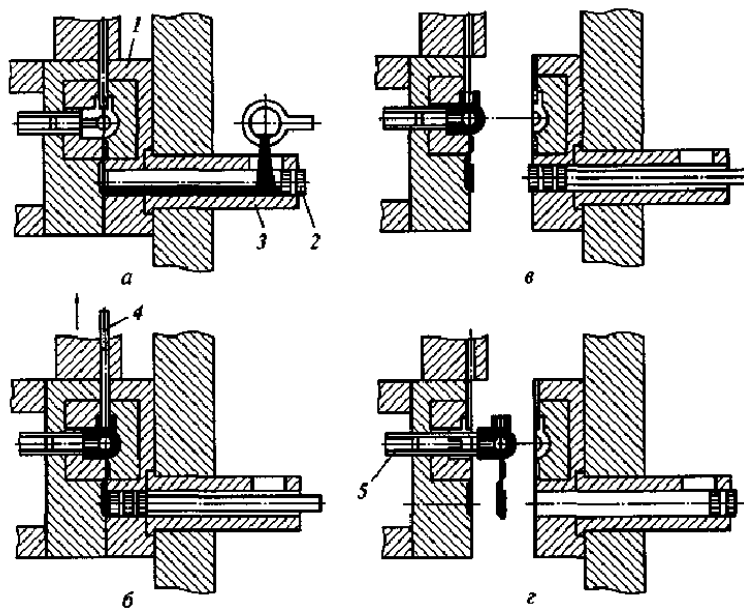


Рис. 1 Схема технологического процесса литья под давлением на машине с холодной камерой прессования: а — подача расплава в камеру прессования; б —

запрессовка; *в* — раскрытие пресс-формы; *г* — выталкивание отливки; 1 — пресс-форма; 2 — пресс-поршень; 3 — камера прессования; 4 — стержень; 5 — толкатель

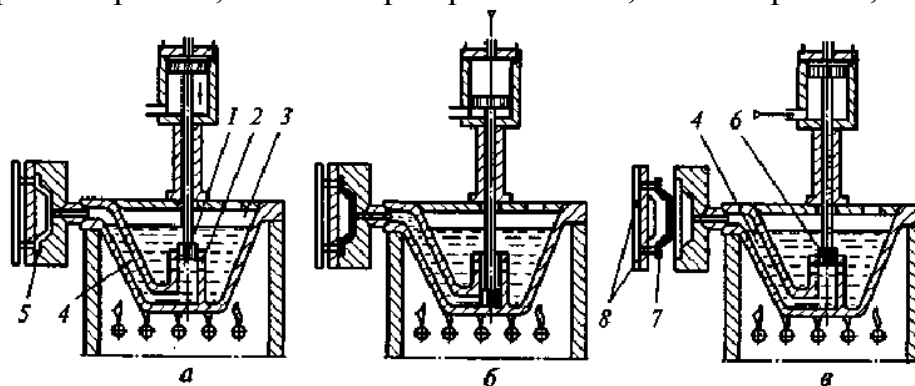


Рис. 2. Схема технологического процесса литья под давлением на машине с горячей камерой прессования: *а* — заполнение камеры прессования расплавом; *б* — запрессовка; *в* — раскрытие пресс-формы и выталкивание отливки; 1 — камера прессования; 2 — заливочное отверстие; 3 — тигель с расплавом; 4 — обогреваемый канал; 5 — пресс-форма; 6 — пресс-поршень; 7 — отливка; 8 — толкатели

### **Основные операции технологического процесса на машинах с холодной камерой прессования:**

1. Подготовка пресс-формы (ПФ) к очередному циклу литья, сборка ПФ и ее запираение с помощью запирающего механизма литейной машины;
2. Подача в камеру прессования дозы расплава;
3. Заполнение рабочей полости ПФ расплавом через каналы литниковой системы под действием пресс-поршня, перемещающегося в камере прессования посредством механизма прессования;
4. Непродолжительная выдержка отливки в ПФ до ее затвердевания и охлаждения до определенной температуры;
5. Извлечение стержней, раскрытие ПФ, извлечение отливки из ПФ с помощью механизма выталкивания и толкателей;
6. Переход механизмов машины в исходное состояние.
7. Отделение литников и заливок от отливки, как правило производится с помощью обрезающего пресса, расположенного около литейной машины, либо механизмами пресс-формы.

### **Основные операции технологического процесса на машинах с горячей камерой прессования:**

1. Камера прессования машины ЛПД располагается в тигле и сообщается с ним через заливочное отверстие;
2. В исходном положении пресс-поршня через заливочное отверстие расплав самотеком поступает из тигля в камеру прессования;
3. После перекрытия пресс-поршнем заливочного отверстия расплав по обогреваемому каналу поступает в рабочую полость пресс-формы;
4. После цикла литья пресс-поршень возвращается в исходное положение и производится слив остатков расплава из канала в камеру прессования;
5. ПФ раскрывается и с помощью толкателей отливка удаляется наружу.

## Особенности формирования отливок ЛПД и их качество.

**Основные показатели качества отливок, получаемых ЛПД являются:**

- точность размеров;
- минимальная шероховатость поверхности;
- высокие механические свойства;
- плотность и герметичность.

Эти показатели определяются **особенностями формирования отливки в ПФ при ЛПД:**

**1. Кратковременность заполнения полости ПФ расплавом.** Скорость впуска расплава в ПФ для разных отливок и сплавов колеблется от 0,3 до 140 м/с, продолжительность заполнения ПФ составляет 0,02...0,3 с, конечное давление на расплав может достигать 500 МПа. Это позволяет (*несмотря на высокую скорость охлаждения расплава в форме*) изготавливать весьма сложные корпусные отливки с толщиной стенки менее 1 мм из сплавов с низкой и даже близкой к нулю жидкотекучестью (*таким свойством обладают, например, сплавы, находящиеся в твердожидком состоянии*). Высокая кинетическая энергия движущегося расплава и давление, передаваемое на него в момент окончания заполнения формы, способствуют получению отливок с низкой шероховатостью поверхности.

**2. Негазопроницаемость материала ПФ.** Вентиляция рабочей полости ПФ происходит посредством специальных вентиляционных каналов. При высоких скоростях впуска расплава в полость пресс-формы воздух, а также газообразные продукты разложения смазочного материала, образующиеся при его взаимодействии с расплавом, не успевают полностью удалиться из ПФ за время ее заполнения расплавом. Эти газы препятствуют заполнению ПФ, попадают в расплав, приводя к образованию неслитин, неспаев, раковин и газовоздушной пористости в отливках. Газовоздушная пористость приводит к уменьшению плотности отливок, снижению их герметичности и пластических свойств.

Воздух, газы, продукты разложения смазочного материала, находящиеся в порах отливки под высоким давлением, затрудняют ее термическую обработку: при нагреве прочность отливки снижается, а давление газов в порах повышается, что вызывает коробление отливки, на ее поверхности появляются пузыри.

**3. Высокая интенсивность теплового взаимодействия между материалом отливки и ПФ,** обусловленная ее высокими теплопроводностью и теплоемкостью, малым термическим сопротивлением слоя смазочного материала и продуктов его разложения, значительным давлением расплава и отливки на стенки ПФ, улучшающим контакт между ними. Это способствует получению мелкозернистой структуры, особенно в поверхностных слоях отливки, повышению ее прочности и высокой производительности процесса.

**4. Передача в момент окончания заполнения металлом ПФ давления, развиваемого пресс-поршнем в камере прессования, на расплав в полости формы.** Это улучшает питание отливки, способствует уменьшению усадочной пористости, сжатию газовоздушных включений. В результате возрастают плотность, герметичность и механические свойства отливки. Однако эффективность действия подпрессовки ограничена, так как это давление

на расплав в ПФ действует только до тех пор, пока питатель не затвердеет.

**5. Использование металлической ПФ с точными размерами и низкой шероховатостью рабочих поверхностей.** Это способствует получению высокоточных отливок по массе, геометрии и размерам. Высокая точность размеров отливок (классы 1—4 по ГОСТ 26645 — 85 (изм. № 1, 1998)) позволяет уменьшить припуски на обработку до 0,3 ...0,8 мм, а в некоторых случаях полностью исключить обработку резанием. Обязательной остается только операция по зачистке мест удаления питателей, соединительных каналов промывников и облоя.

Коэффициент точности отливок по массе (КТМ) при литье под давлением достигает 0,95...0,98. Шероховатость поверхности отливок под давлением зависит в основном от шероховатости поверхности пресс-формы и технологических режимов литья. Обычно отливки под давлением имеют шероховатость 1,0 ...0,5 мкм.

### **Эффективность производства отливок методом ЛПД и область их применения.**

**Преимущества литья под давлением на основании производственного опыта:**

1) возможность изготовления отливок значительной площади с малой толщиной стенок (менее 1 мм);

2) возможность повышения качества отливок: отливка получается с высокой точностью размеров и низкой шероховатостью поверхности; практически не требует обработки резанием; механические свойства отливок получаются достаточно высокие;

3) возможность многократного использования металлической пресс-формы. При этом сборка формы и извлечение из нее готовой отливки выполняются машиной, а процесс получения отливки является малооперационным. *(Эти обстоятельства и высокая скорость затвердевания отливки в пресс-форме делают процесс литья под давлением одним из самых высокопроизводительных литейных процессов и создают предпосылки для полной автоматизации данного производства);*

4) значительное улучшение санитарно-гигиенических условий труда вследствие устранения из литейного цеха формовочных материалов, меньшее загрязнение окружающей среды.

**Недостатки литья под давлением на основании производственного опыта:**

1) ограниченные мощностью машины (усилием, развиваемым механизмом запирания) габаритные размеры и масса отливок;

2) высокая стоимость пресс-формы, сложность и трудоемкость изготовления, ограниченная стойкость, особенно при литье сплавов черных металлов и медных сплавов, что снижает эффективность процесса и ограничивает область его использования. *Повышение стойкости пресс-форм является одной из важных проблем особенно при литье сплавов, имеющих высокую температуру плавления. Удлинение срока службы пресс-форм повышает эффективность производства, позволяет расширить номенклатуру сплавов, из которых могут быть получены отливки под давлением;*

3) трудности выполнения отливок со сложными полостями, поднутрениями, карманами;

4) наличие в отливках газовой и усадочной пористости, которая снижает механические свойства материала отливок, их герметичность, затрудняет термическую обработку, вследствие чего ограничиваются возможности изготовления отливок из сплавов, упрочняемых термической обработкой. *Снижение газовой и усадочной пористости отливок при ЛПД также является одной из важных проблем данной технологии.*

5) наличие напряжений в отливках при усадке из-за неподатливости пресс-формы также ограничивает номенклатуру сплавов, из которых могут быть изготовлены отливки данным способом.

С учетом преимуществ и недостатков способа литья под давлением определяется рациональная область его использования. Вследствие высокой стоимости пресс-форм, сложности оборудования, высокой производительности экономически целесообразно применять литье под давлением в массовом и крупносерийном производстве точных отливок с минимальными припусками на обработку резанием из алюминиевых, цинковых, магниевых и медных сплавов, а в некоторых случаях и специальных сплавов и сталей.

*Этот процесс с полным основанием может быть отнесен к малооперационным и практически безотходным технологиям, так как литники и облой подвергают переплавке, а отходы в стружку малы. Наивысшие экономические показатели достигаются при изготовлении отливок под давлением на машинах с горячей камерой прессования.*

### **Газовый режим пресс-формы при ЛПД**

Для получения качественной отливки необходимо, чтобы при заполнении расплавом пресс-формы воздух и газы от разложения смазочного материала удалялись из нее, так как, попадая в отливку, они ухудшают ее свойства.

Суммарный объем  $V_{\Sigma}$  газов (рис. 3), который должен быть удален из полости пресс-формы, определяется:

- объемом  $V_k$  газов, поступающих в ПФ из камеры прессования и каналов литниковой системы;
- объемом рабочей полости пресс-формы, равного объему  $V_o$  отливки;
- объемом  $V_r$  газообразных продуктов разложения смазочного материала пресс-формы:

$$V_{\Sigma} = V_k + V_o + V_r.$$

$V_k$  зависит от следующих параметров:

- диаметра пресс-формы;
- дозы расплава, заливаемого в камеру;
- конструкции машины...

Например (рис.3), для машин с горизонтальной холодной камерой прессования объем газового пространства над зеркалом расплава, стенками камеры и пресс-поршнем обычно составляет 0,25...0,4 от общего объема камеры



прессования. Величина  $V_k$  должна также учитывать объем газообразных продуктов от смазочных материалов камеры и пресс-поршня.

Объем газов и воздуха, попадающих из горизонтальной холодной камеры прессования в полость пресс-формы, зависит также от скорости перемещения прессующего поршня. Так при движении пресс-поршня с постоянной скоростью уровень расплава  $h$  может соответствовать положениям 1—4 (рис. 3, а) или 5—7, соответственно при скорости пресс-поршня меньше и больше скорости распространения волны на поверхности расплава. Однако в любом из этих случаев воздух и газы могут замешиваться в расплав и затем попадать в отливку.

При ускоренном перемещении (рис. 3, б) пресс-поршень постоянно догоняет волну расплава, образуемую при трогании его с места, воздух и газы практически до начала заполнения литникового хода могут удаляться в пресс-форму, а из нее через систему вентиляции в атмосферу.

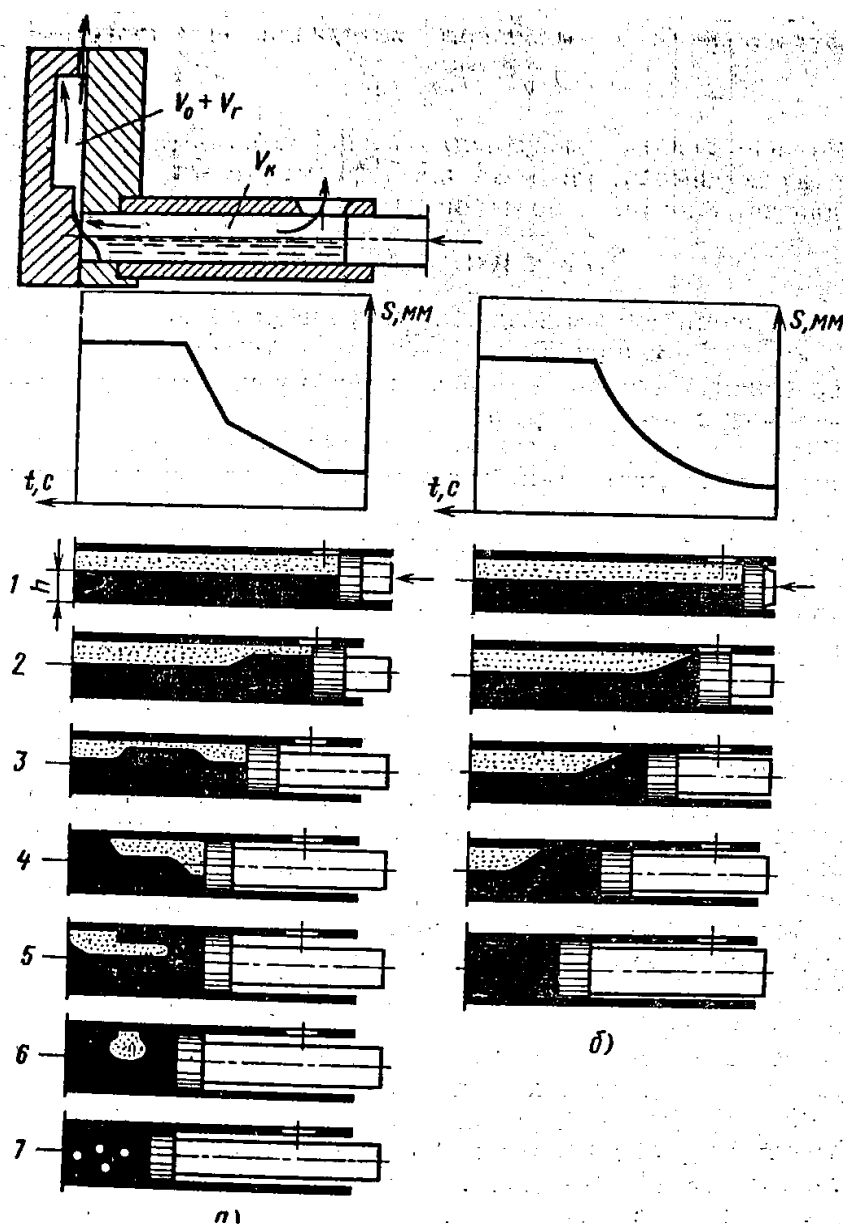


Рис. 3 Схема удаления газов из пресс-формы и камеры прессования: а - при движении с постоянной скоростью; б - при ускоренном движении пресс-поршня.

Для машин с вертикальной холодной или горячей камерой прессования величина  $V_k$  включает в себя лишь объем каналов литниковой системы.

Объем  $V_{\Gamma}$  паров и газов, выделяющихся при заполнении пресс-формы расплавом от разложения смазочного материала В.Н. Зеленов предложил определять по зависимости:

$$V_{\Gamma} = k Z F_{\phi} h_{cm} \rho_{cm},$$

где  $k$  - коэффициент, учитывающий степень разложения смазочного материала до газообразного состояния за время заполнения пресс-формы ( $k=0$  - смазочный материал не подвергся разложению в пресс-форме,  $k=1$  - при полном разложении смазочного материала на газообразные продукты);

$Z$  - газотворная способность смазочного материала;

$F_{\phi}$  - площадь поверхности рабочей полости ПФ;

$h_{cm}$  - толщина слоя смазочного материала на поверхности рабочей полости ПФ;

$\rho_{cm}$  - плотность смазочного материала.

Для уменьшения объема  $V_{\Gamma}$  газообразных продуктов разложения используют высокоэффективные смазочные материалы, обладающие высокой термостойкостью (значение  $k$  близко к нулю), низкой газотворной  $Z$  и высокой смазывающей способностью. Последнее позволяет снизить расход материала, его толщину  $h_{cm}$  на рабочей поверхности, повысить качество отливок и уменьшить выбросы в окружающую среду.

*Учитывая практические данные, можно сделать вывод о том, что получить отливку с низкой пористостью, только путем удаления газообразных продуктов из пресс-формы, задача весьма сложная. Поэтому на практике уменьшение объема пор чаще достигают путем повышения давления прессования. Это хорошо иллюстрируется тенденцией развития машин литья под давлением. Если в начале развития процесса они могли обеспечивать давление прессования в несколько МПа, затем в десятки МПа, то в настоящее время давление прессования достигает 500 МПа. Эта тенденция приводит к созданию весьма мощных, металлоемких и энергоемких машин.*

Основная причина, вызывающая необходимость высоких давлений прессования, является недостаточная вентиляция пресс-формы.

*Для уменьшения газовой и воздушной пористости в отливках под давлением, используют различные методы:*

- повышенное давление прессования,*
- создание рациональных конструкций литниковой и вентиляционной систем пресс-формы,*
- выбор оптимальных режимов литья - скорости прессования, температуры расплава и пресс-формы, давления прессования,*

*Наряду с этими методами, разработаны и используются в производственных условиях специальные способы литья под давлением, направленные на уменьшение газовой и воздушной пористости в отливках.*

## Специальные способы литья под давлением, направленные на снижение газовой и воздушной пористости в отливках.

*Производственная реализация этих специальных способов сопряжена с дополнительными затратами, усложнением конструкций пресс-форм, машин литья под давлением. Такие затраты можно считать оправданными только при необходимости изготовления отливок под давлением, к качеству которых предъявляются особые требования.*

К числу специальных способов литья под давлением, направленных на уменьшение газовой пористости в отливках, относят литье с использованием вакуумирования пресс-формы и камеры прессования, литье с регулированием состава газов в полости пресс-формы.

**Литье под давлением с использованием вакуума.** Для осуществления данного вида литья используют разные способы вакуумирования полости пресс-формы и камеры прессования, которые различаются по следующим особенностям:

- по месту удаления воздуха и газов (непосредственно из пресс-формы, из кожуха или камеры, в которую заключена пресс-форма и т.д.);
- по моменту начала вакуумирования пресс-формы и камеры прессования;
- по конструктивному исполнению систем вакуумирования.

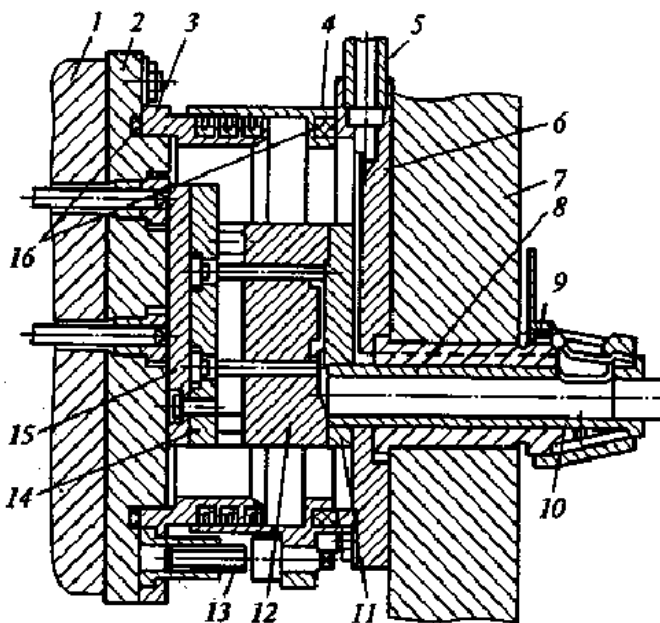


Рис. 4 Установка для литья под давлением с вакуумированием пресс-формы:

1, 7 — соответственно подвижная и неподвижная плиты машины; 2, 6 — то же, вакуумной камеры; 3, 4 — соответственно подвижная и неподвижная части кожуха; 5 — трубопровод; 8 — камера прессования; 9 — поворотная муфта; 10 — сменная втулка; 11, 12 — соответственно неподвижная и подвижная полуформы; 13 — упоры; 14, 15 — плиты толкателей; 16 — уплотнения

На машине с холодной горизонтальной камерой прессования установлено устройство для создания вакуума в пресс-форме, которое представляет собой камеру, состоящую из плиты 2, укрепленной на подвижной плите 1 машины, двух частей кожуха 3 и 4, а также неподвижной плиты 6, расположенной на неподвижной

плите 7 машины. Внутри кожуха находится пресс-форма, состоящая из неподвижной 11 и подвижной 12 полуформ, плит 14 и 15 толкателей. Камера прессования 8 каналом (показан штриховой линией) соединяется с системой вакуумирования. При закрытии пресс-формы уплотнения 16 и упоры 13 обеспечивают герметичность вакуумной камеры. После заливки расплава в камеру прессования заливное окно камеры закрывают поворотной муфтой 9, после чего камера с помощью электромагнитного золотника соединяется через трубопровод 5 с вакуумным ресивером или воздушным насосом. В камере создается требуемое разрежение воздуха, и продукты разложения смазочного материала пресс-формы удаляются из ее полости через вентиляционные каналы; одновременно или с некоторой задержкой происходит запрессовка расплава в пресс-форму.

*Однако при литье под давлением с использованием вакуума могут создаваться условия, при которых газы, растворенные в расплаве, при понижении его температуры и увеличении разности парциальных давлений газа в расплаве и в пресс-форме начнут выделяться из раствора. При этом газовая пористость отливок увеличивается.*

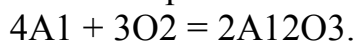
Степень разрежения, при которой достигается требуемое качество отливок, зависит от химического состава расплава, количества и состава растворенных в расплаве газов, конфигурации отливки, влияющей на скорость ее охлаждения.

*Кроме того, при больших степенях разрежения снижается температура испарения некоторых металлов (Zn, Mg), которые могут входить в состав заливаемого расплава или являться его основой. Процессы испарения таких составляющих также могут привести к появлению пористости и раковин в отливках. Поэтому, например, для небольших тонкостенных отливок из цинковых, алюминиевых и магниевых сплавов создается разрежение в пресс-форме в пределах 25 ...50 кПа.*

**Литье под давлением с регулированием состава газов.** Практическое применение получили процессы литья с замещением воздуха и газообразных продуктов разложения смазочного материала кислородом (кислородный процесс), а также газами с низкой молекулярной массой, например гелием.

**Кислородный процесс.** Перед заливкой расплава полости пресс-формы и камеры прессования продуваются кислородом до полного вытеснения воздуха. При заполнении

пресс-формы расплавом кислород вступает в реакцию окисления с компонентами расплава. Реакция окисления расплава протекает с высокой скоростью, благодаря чему большая часть кислорода в объеме рабочей полости расходуется на окисление, а не на образование в нем пор:



Образующиеся частицы оксида  $A1_2O_3$  находятся в мелкодисперсном состоянии, и их удастся обнаружить только при увеличении более чем в 40 тысяч раз, используя электронный микроскоп.

*Теоретически содержание оксидов в отливке, полученной кислородным процессом, может в 4,5 раза превышать их количество в отливках, полученных обычным литьем под давлением, однако механические свойства металла и*

*обрабатываемость отливок при этом не ухудшаются. Вместе с тем газосодержание отливок и пористость в них значительно уменьшаются.*

#### **Преимущества кислородного процесса:**

- снижение в отливках общего газосодержания и пористости;
- производительность процесса литья практически не снижается, форму не нужно заключать в кожух, что позволяет использовать достаточно сложные пресс-формы с дополнительными механизмами для извлечения стержней и т.д.

#### **Недостатки кислородного процесса:**

- при проведении кислородного процесса исключено использование смазочных материалов, выделяющих при разложении продукты, способные взаимодействовать с кислородом. Смазочные материалы пресс-формы для кислородного процесса должны быть негасительными, иначе из-за взаимодействия кислорода с продуктами разложения смазочного материала в полости формы могут образоваться газы CO, CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O и другие газы и пары, что снизит эффективность процесса! *Это ограничивает применение кислородного способа для отливок, сложных «по съему», т.е. отливок с большим числом стержней, выполняющих глубокие полости, отверстия большой протяженности и т.д.;*
- повышение пожароопасности в цехе.

#### **Технологические режимы литья под давлением.**

Важнейшими параметрами технологического процесса ЛПД являются:

- продолжительность заполнения пресс-формы расплавом;
- скорость впуска расплава в пресс-форму;
- размеры и расположение вентиляционных каналов;
- количество и свойства смазочного материала пресс-формы;
- температура расплава и пресс-формы.

**Продолжительность заполнения пресс-формы** зависит от толщины стенки отливки и марки сплава. *Если, в условиях интенсивного теплообмена между расплавом и пресс-формой, время течения первых порций расплава в ее рабочей полости будет больше оптимального, то в этом случае, вероятно образование неслитин и неспаев.*

**Скорость впуска расплава в пресс-форму**, определяет характер его движения (сплошной спокойный или с высокой турбулентностью, дисперсный), оказывает влияние не только на качество отливки, но и на долговечность пресс-формы. Слишком высокая скорость впуска расплава повышает вероятность смыва смазочного материала с рабочих поверхностей пресс-формы, оказывает эрозионное воздействие на ее стенки, что приводит к привариванию отливки к пресс-форме. При последующем извлечении отливки это может приводить к поломке пресс-формы, короблению, образованию трещин на отливке или ее разрушению.

Работа при низких скоростях впуска, как правило, не обеспечивает высокого качества поверхности отливок.

Для всех типов сплавов, используемых при литье под давлением, оптимальная скорость впуска чаще всего составляет 10...50 м/с (меньшие значения — скорости,

используемые при изготовлении отливок из сталей и медных сплавов, а большие — из цинковых и свинцово-оловянистых сплавов).

**Температура пресс-формы перед заливкой** назначается с учетом состава заливаемого сплава, конфигурации отливки, толщины ее стенки, а также других факторов.

При литье под давлением температура пресс-формы, в зависимости от заливаемого сплава составляет:

- для цинковых сплавов 120... 160°C;
- для алюминиевых 180...250°C;
- для магниевых 200...240°C;
- для латуни 280...320°C;
- для стали 200...280°C.

Для уменьшенной толщины стенки отливки и усложненной ее конфигурации температуру пресс-формы назначают ближе к верхнему пределу указанных интервалов, а для более массивных отливок — ближе к нижнему. Соблюдение этого принципа позволяет при изготовлении тонкостенных отливок улучшить заполнение формы расплавом, а для более массивных — повысить скорость затвердевания и уменьшить количество усадочных дефектов.

*Для регулирования температурного режима работы пресс-формы, управления процессом затвердевания и охлаждения отливки в конструкциях пресс-форм предусматривают системы охлаждения или тепловой изоляции отдельных элементов пресс-формы.*

**Температура заливки расплава** зависит от:

- химического состава сплава,
- конфигурации и размеров отливки;
- выбранного режима заполнения пресс-формы.

Заливка ПФ перегретым расплавом может иметь следующие **негативные последствия**:

- общее увеличение объема усадочных пор в отливке;
- проникновение расплава в вентиляционные каналы ПФ, их закупорка, как следствие - увеличение в отливках газовой пористости, а в некоторых случаях — к незаполнению формы;
- снижение темпа работы машин (длительность затвердевания и охлаждения отливки возрастает);
- возрастание тепловой нагрузки на пресс-форму и снижение ее стойкости;
- увеличение опасности “приваривания” отливки к пресс-форме, что повышает вероятность поломки отливки или пресс-формы при выталкивании отливки.

*Это объясняет стремление литейщиков заливать расплав при возможно более низкой температуре:*

- для цветных сплавов температура заливки расплава в камеру прессования обычно на 10...30° выше температуры ликвидуса. С увеличением размеров отливки и уменьшением толщины ее стенки температуру заливки принимают ближе к

верхнему пределу, а для массивных отливок простой конфигурации ближе к нижнему.

- для массивных отливок, а также отливок с повышенными требованиями по плотности часто температуру расплава принимают в интервале ликвидус — солидус, т. е. производят заливку расплава в твердо-жидком состоянии. Это позволяет обеспечить последовательное вытеснение воздуха и газов из пресс-формы и уменьшить объем усадочных пор в отливке. Одновременно уменьшается тепловая нагрузка на пресс-форму, повышается ее стойкость; уменьшается продолжительность охлаждения отливки, опасность ее “приваривания” к пресс-форме, возрастает надежность работы машины.

Преимущества литья сплавов в твердо-жидком состоянии:

- уменьшение пористости отливок;
- повышение герметичности отливок;
- повышение механических свойств.

Твердо-жидкими сплавами формы заполняют только на машинах с холодными камерами прессования, так как на машинах с горячими камерами такие режимы осуществить невозможно из-за перемерзания расплава в мундштуке и невозможности его самопроизвольного перетекания из тигля в камеру прессования.

**Давление прессования** зависит от:

- толщины стенки отливки;
- размеров и конфигурации отливки;
- химического состава сплава.

Для уменьшения усадочной пористости важно осуществление подпрессовки в конечный момент заполнения пресс-формы, для чего используют механизмы прессования с мультипликацией (усилением) давления на расплав в камере прессования машины.

**1 вариант** (рис.5, а): давление прессования увеличивается благодаря дополнительному гидроцилиндру 5. Шток 4 в момент окончания заполнения пресс-формы выдвигается в поршневую полость основного цилиндра 3 механизма прессования на некоторую величину  $l$  и увеличивает давление  $p$  рабочей жидкости на поршень основного цилиндра и усилие передаваемое штоком с пресс-поршнем 2 на расплав в камере прессования 1. В результате этого осуществляется подпрессовка.

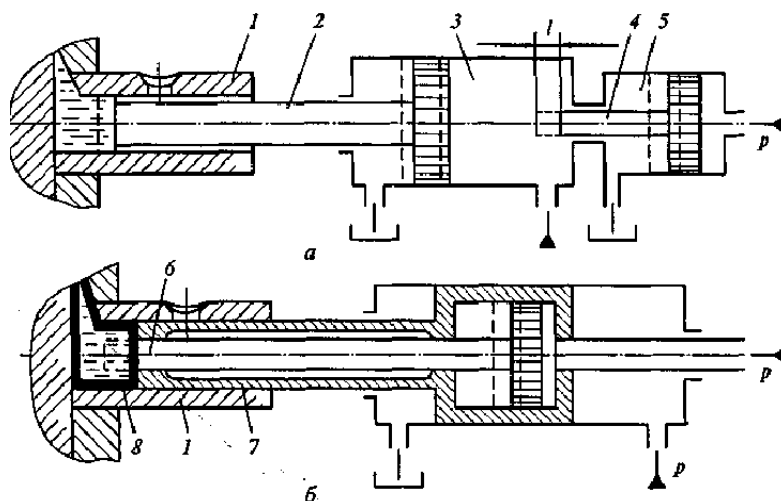


Рис. 5 - Схемы механизмов прессования машин литья под давлением: а – с мультипликатором; б - с двойным плунжером; 1 - камера прессования; 2 - шток основного гидроцилиндра с пресс-поршнем; 3 - основной гидроцилиндр; 4 - шток мультипликатора; 5 - мультипликатор; 6 - дополнительный плунжер; 7 - основной плунжер; 8 - затвердевший металл.

**2 вариант** (рис.5, б): применяют двойной прессующий поршень. До момента образования корочки затвердевшего металла 8 на стенках камеры прессования 1 оба плунжера 6 и 7 перемещаются вместе, а затем после остановки основного плунжера 7 продолжает движение дополнительный плунжер 6 и давление на расплав увеличивается.

#### **Преимущества подпрессовки:**

- уменьшение пор в отливке,
- повышению плотности и герметичности отливки.

*Однако ее действие эффективно только в случае, если время нарастания давления (мультипликация) меньше времени затвердевания расплава в питателе. Поэтому современные конструкции машин для литья под давлением имеют механизмы подпрессовки с высоким быстродействием: время нарастания давления в таких механизмах составляет тысячные доли секунды без возникновения значительного гидроудара.*

#### **Смазывание.**

Смазочные материалы, которые используются при ЛПД по назначению делятся на **группы**:

- материалы для смазывания рабочих поверхностей пресс-формы;
- материалы для смазывания пресс-поршня и камеры прессования.
- вспомогательные смазочные материалы.

#### **Назначение смазки при ЛПД:**

- защита рабочих поверхностей ПФ от химического, механического, теплового воздействия струи расплава;
- предотвращение “приваривания” отливки к ПФ;
- снижение усилия извлечения из отливки стержней и вставок во избежание их поломки и деформации отливок при их извлечении из пресс-форм.



### Требования к смазочным материалам:

- высокие смазывающие и противозадирные свойствами при температурах взаимодействия отливки и ПФ;
- минимальная газотворность при разложении под действием высоких температур;
- не должны оказывать вредное влияние на свойства отливок (герметичность, газосодержание, коррозионная стойкость);
- не должны воздействовать на поверхность пресс-формы и отливки;
- нетоксичность;
- не должны содержать дефицитных материалов;
- должны сохранять свои свойства при хранении;
- пожаро- и взрывобезопасность;
- возможность нанесения на поверхность ПФ автоматическими устройствами.

Чаще всего в производстве для автоматизированного нанесения используют смазочные материалы на основе минеральных масел в виде эмульсии масла в воде с добавками твердых наполнителей со сложной молекулярной структурой и различных химически активных присадок.

Для отливок из алюминиевых сплавов используют водоэмульсионные смазочные материалы типов «Графитол-Э» и «Прессол-Э». Эти материалы обладают удовлетворительным смазывающим действием, способствуют повышению производительности процесса, особенно при высокой теплонагруженности пресс-форм. Однако, следует учитывать, что интенсивное охлаждение рабочих поверхностей этими материалами оказывает отрицательное действие на стойкость пресс-форм.

Более высоким смазывающим действием обладают смазочные материалы типа «ЛД», имеющие в своем составе:

- масляную основу (например, масло МС-20),
- химически активные добавки (трихлорэтилен и др.),
- керосиновую фракцию, выполняющую роль разбавителя.

Однако по сравнению с «Прессолами» и «Графитолами» этот смазочный материал больше загрязняет атмосферу цеха, его конденсат в системе вентиляции цеха повышает пожароопасность процесса. По этим и другим причинам применение таких материалов при обычном автоматизированном способе смазывания пресс-форм сокращается.

Смазочные материалы «Прессол», «Графитол» и подобные им по составу обладают невысоким противозадирным действием.

Для предотвращения образования задиров на сложных по съему участках отливок из алюминиевых сплавов используют противозадирные смазочные материалы типа «Алюминол МГ» на масляной основе с добавками твердого наполнителя (графита, алюминиевого порошка) и различных присадок. На такие участки пресс-форм противозадирный материал чаще всего наносится вручную.

При литье магниевых сплавов используют смазочные материалы на масляной основе, например, состоящие из трансформаторного масла, керосина (разбавитель), графита, а также водорастворимые солевые смазочные материалы.

Для отливок из медных сплавов применяют «Графитолы», «Прессолы» и подобные им материалы.

При изготовлении стальных отливок используют смазочные материалы на основе дисульфида молибдена, не содержащие растворителей или разбавителей.

На машинах с холодной камерой прессования обязательно смазывается пресс-поршень и рабочая поверхность камеры прессования. Для этой цели используют консистентные смазочные материалы, имеющие в своем составе масляную основу, загустители, графит и другие материалы, повышающие их смазывающие свойства.

*В последнее время, для улучшения санитарно-гигиенических условий труда в цехах литья под давлением и повышения качества отливок, стали применять порошкообразные смазочные материалы на основе материалов подобных воску, не имеющие в своем составе растворителей. С целью исключить выбросы вредных веществ в атмосферу цеха используются устройства для смазывания рабочих поверхностей пресс-формы при закрытом ее положении, перед или во время запрессовки в нее расплава.*

Вспомогательные смазочные материалы, упрощают обслуживание пресс-форм и продлевают срок их эксплуатации. К ним относятся, например, антипригарные смазочные материалы для крепежных деталей пресс-форм.

### **Проектирование технологического процесса ЛПД**

#### **Оценка технологичности отливки.**

##### **Сплавы для литья под давлением.**

*Обычно технолог-литейщик имеет возможность выбора марки сплава лишь в тех случаях, когда в технической документации на деталь указан лишь его тип и не указана марка. В цехах литья под давлением чаще используют не первичные, а вторичные сплавы, что обусловлено экономическими соображениями.*

Наилучшими литейными свойствами обладают сплавы:

- цинковые ЦАМ4-1, ЦА4МЗ ГОСТ 25140-82;
- алюминиевые АК12, АК9, АК7 ГОСТ 1583-73;
- магниевые МЛЗ, МЛ5 ГОСТ 2856-79;
- медные ЛЦ40Сд, ЛЦ16К4 ГОСТ 17711-80 и др.

Указанные сплавы обладают хорошей жидкотекучестью, низкой и стабильной усадкой, имеют небольшой интервал затвердевания и достаточно высокие эксплуатационные свойства. Их химический состав и свойства мало изменяются при длительной выдержке расплава в раздаточной печи. От первичных сплавов, например, АЛ2, АЛ9 и АЛ4, сплавы АК12, АК9 и АК7 в основном отличаются большим содержанием примесей и меньшей пластичностью.

Основные критерии технологичности отливок, получаемых ЛПД:

- 1) равенстенность;
- 2) радиусы закругления;
- 3) плавные переходы;
- 4) уклоны (или конусность);
- 5) отверстия;
- 6) армирование.

**Равненстенность** - требование заключается в назначении одинаковой толщины стенок на всем протяжении и в различных основных плоскостях (рис.6).

Это требование обеспечивает равномерность и одновременность усадки и отсутствие усадочных раковин, которые обычно в этом случае выводят в приливы-прибыли или в литниково-питающую систему. Одновременно с равностенностью необходимо стремиться к тонкостенности для устранения крупнозернистой структуры и увеличения прочности. В тонкостенных отливках для создания необходимой жесткости предусматривают ребра жесткости (рис.6).

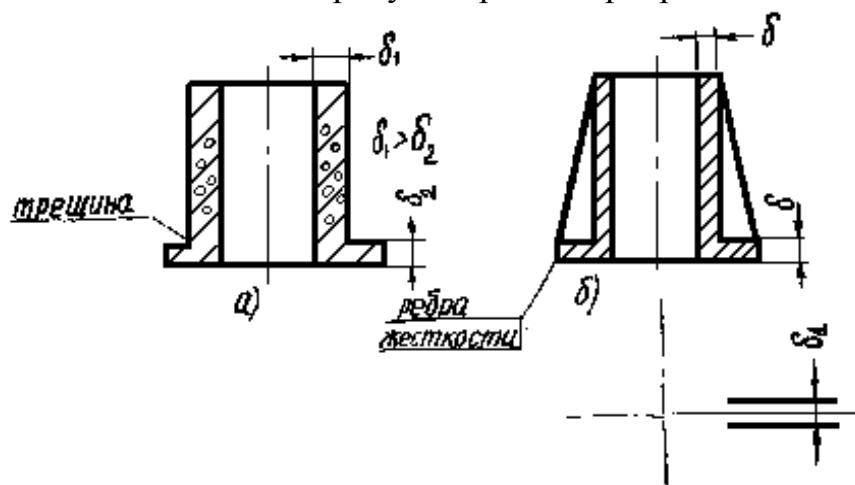


Рис. 6. Влияние толщины стенки на качество отливки: а) неравностенная отливка, б) равностенная отливка.

Толщина ребер жесткости внешних  $d_p = (0.8-0.9)d$ , внутренних  $d_p = (0.6-0.7)d$ , где  $d$  - средняя толщина стенки детали.

Толщина стенок зависит от способа литья площади сплошной поверхности и сплава, что представлено в следующей таблице.

**Таблица - Зависимость толщины стенок от способа литья.**

Способ литья и сплав	Средняя толщина стенки в мм при площади отливки до 400 см <sup>2</sup>
По выплавляемым моделям	1.5...3
Под давлением: цинковых сплавов	1...2
Под давлением: алюминиевых и медных сплавов	1...3
Под давлением: латунь	1...3.5
В кокиль	4...5
В оболочковые формы	2...3
По ЖСС	4...5

**Радиусы закругления** назначают для предупреждения образования усадочных трещин, возникающих вследствие неравномерности кристаллизации (рис.7).

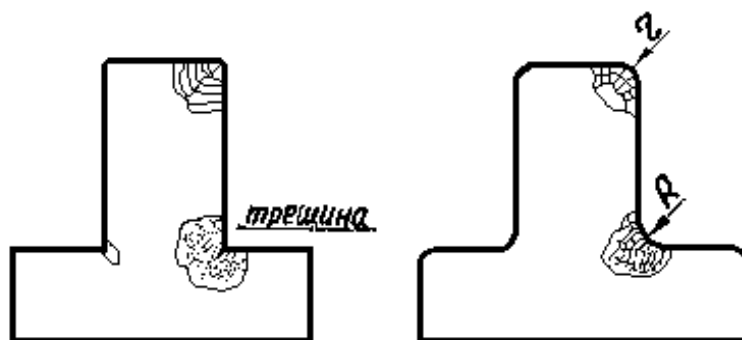


Рис.7 - Влияние радиуса сопряжения стенок на качество отливок.

Кроме внутренних сопрягают также и внешние острые кромки для предупреждения образования трещин в пресс-формах. Острые кромки допускают только на плоскостях разъема. Величина рекомендуемых внутренних и внешних радиусов сопряжения отливок зависит от способа литья:

**Таблица - Зависимость радиусов скругления от способа литья.**

Способ литья	внутренний радиус	внешний радиус
В песчаные оболочковые формы	5	3
В кокиль	3	2
По выплавляемым моделям	1	0.5
Под давлением	0.8	0.3

**Плавные переходы.** Переходы от толстых сечений к тонким для предупреждения образования трещин в граничных зонах при охлаждении отливки должны быть выполнены постепенно (рис.8).

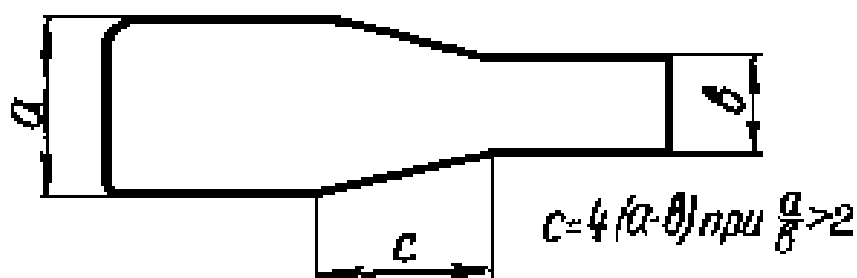


Рис. 8 Плавные переходы от толстых к тонким сечениям отливки

Величину участка сопряжения определяет соотношение толщин стенок.

### Уклоны (конусность)

Стенки и ребра отливки, перпендикулярные плоскости разреза, получаемые извлекаемыми стержнями должны иметь литейные уклоны. На внешних поверхностях 10...30 минут, а на внутренних от 30 минут до 2°. При назначении уклонов необходимо стремиться к тому, чтобы окончательный размер отливки не выходил за пределы поля допуска и учитывать то, что с уменьшением уклона усложняется ее извлечение из пресс-формы.

### Отверстия.

*Технические возможности литья под давлением позволяют получать в отливках отверстия с такой высокой точностью и низкой шероховатостью, что во многих случаях их механическая обработка может быть исключена.*

Максимально допустимые глубины  $h$  глухих отверстий (в числителе) и сквозных отверстий (в знаменателе) из различных типов сплавов при минимально возможном их диаметре.

Zn-  $h=6/12$ мм;  $\varnothing_{\min}1,0$ .

Mg-  $h=5,0/10$ мм;  $\varnothing_{\min}1,5$ .

Al-  $h=3,0/6,0$ мм;  $\varnothing_{\min}1,5$ .

Cu-  $h=3,0/4,0$ мм;  $\varnothing_{\min}2,5$ .

*Следует учитывать, что с уменьшением диаметра и увеличением глубины отверстий повышается вероятность разрушения отливки при ее извлечении или поломки пресс-формы (обрыв стержней, разрушение формообразующих вставок и др.).*

**Армирование.** Данный технологический процесс позволяет получать отливки с разнообразной арматурой, т. е. деталь соединенную с другой деталью (арматурой), выполненной из стали, чугуна, медных сплавов и других материалов, в пресс-форме после запрессовки в нее расплава. Этот технологический прием может быть использован для решения следующих конструкторских и технологических задач:

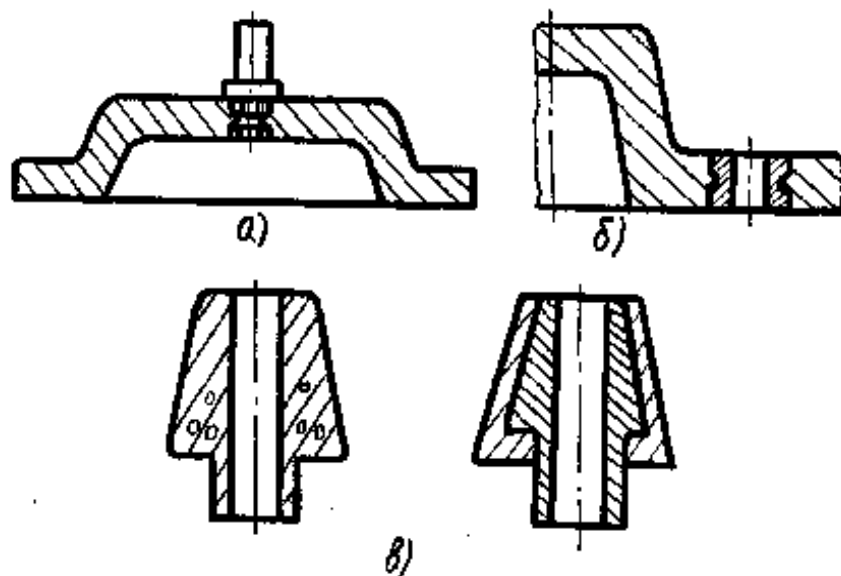
- местное увеличение прочности, износостойкости, электропроводности и других служебных свойств отливок;

- получение отливок со сложными каналами и полостями (заливка медных трубок – для циркуляции охлаждающей жидкости, заливка бронзовых втулок в корпус из цинкового сплава уменьшает трение);

- экономия цветных металлов и т.д.;

- создание необходимых условий затвердевания в массивных частях отливки, когда арматура выполняет роль холодильника.

Соединение арматуры с основным телом отливки может происходить в результате действия сжимающих напряжений, а также диффузионных процессов по границе основной материал-арматура. Для надежного соединения арматуры с материалом отливки, зону контакта подвергают специальной механической обработке или создают необходимые условия для диффузионных процессов путем гальванического покрытия арматуры.



**Выбор машины.** Выбор типа литейной машины определяется материалом отливки и требованиями, предъявляемыми к ее качеству. Машины с горизонтальной холодной камерой прессования могут быть использованы для изготовления отливок из всех перечисленных выше сплавов. Их использование, при производстве отливок из Zn- и Mg-сплавов, менее рентабельно, чем машин с вертикальной горячей камерой прессования.

Машины с вертикальной холодной камерой прессования используются при изготовлении отливок из Al-, Zn- и Mg-сплавов.

Существующие технические возможности позволяют использовать машины с вертикальной горячей камерой прессования лишь для Zn- и Mg-сплавов. Перспективность использования этих машин для сплавов других типов объясняется самопроизвольным выполнением операции заливки расплава в камеру прессования, которая на них установлена в тигле и погружена в расплав.

При изготовлении отливок из Al-сплавов с повышенными требованиями по плотности, прочности и герметичности применяют, наименее распространенные в настоящее время, машины вертикальной компоновки. Использование на этих машинах вакуумного способа подачи расплава в вертикальную камеру прессования снижает вероятность захвата расплавом газов и позволяет подвергать отливки высокотемпературной термообработке при нормальном давлении и их использование при повышенных температурах.

Выбор параметров литейной машины начинают с анализа требований, предъявляемых к отливке, что позволяет оценить минимально необходимое давление  $(p_{np})_{min}$  прессования, используя, например, приведенные ниже данные. При этом, чем больше толщина стенки отливки, тем более высокое давление прессования требуется для обеспечения ее качественных характеристик. Так в таблице, меньшие значения соответствуют толщине стенки около 3мм, а большие 5...7мм.

Рекомендуемое давление прессования (МПа).

Требования, предъявляемые к отливке	<b>Материал основы сплава</b>		
	Al	Mg	Zn
Обычного назначения	40...80	40...80	10...20
Силовая деталь	60...120	60...120	20...30
Силовая деталь, работающая под избыточным давле- нием жидкости или газа	80...200	80...180	25...50

Далее, задавшись количеством отливок одновременно получаемых в пресс-форме (количеством гнезд), выбирают модель литейной машины и диаметр камеры прессования.

Литейная машина обеспечивает две основные характеристики - усилие  $P_{\text{зап}}$  запираания и усилие  $P_{\text{пр}}$  прессования. Как правило, на современных машинах этими усилиями можно управлять. В паспортных характеристиках указываются их максимальные значения.

Определив минимально необходимое давление прессования, задавшись количеством рабочих гнезд в пресс-форме и определив площадь проекции (суммарную площадь проекции, смоченной расплавом поверхности рабочих полостей пресс-формы, включая каналы литниковой системы) куста отливок на ее плоскость разъема, рассчитывают усилие  $P_{\text{рас}}$  раскрытия пресс-формы. Принимая коэффициент запаса равным 1,0...1,5, определяют необходимое усилие  $P_{\text{зап}}$  запираания, которое должна обеспечивать литейная машина  $P_{\text{зап}} \geq (1,0...1,5)P_{\text{рас}}$ . При этом, с увеличением коэффициент запаса сокращается объем финишных операций, снижаются затраты на обслуживание и ремонт машин.

*Значение коэффициента запаса принимается тем большим, чем больше ожидаемая величина гидроудара в конце запрессовки расплава и остановки пресс-поршня. Гидроудар тем больше, чем выше скорость пресс-поршня и хуже динамические характеристики литейной машины.*

Выбрав по усилию запираания модель литейной машины, из ее паспортных характеристик узнаем усилие  $P_{\text{пр}}$  прессования, которое развивает данная модель. Далее можно, например, выбрать диаметр  $D_{\text{кп}}$  (площадь  $F_{\text{кп}}$  поперечного сечения) камеры прессования исходя из условия  $((p_{\text{пр}})_{\text{min}} \leq P_{\text{пр}} / F_{\text{кп}})$  обеспечения необходимого давления прессования и произвести проверку на достаточность ее объема для заливки требуемой дозы расплава. Если результат проверки будет отрицательным, то принимается решение либо об уменьшении числа рабочих гнезд в пресс-форме, либо использования машины другой модели (например, с большим усилием запираания), либо об изменении диаметра камеры прессования и получения отливок при меньшем давлении прессования и т.д.

Все эти несложные инженерные расчеты выполняются, чаще всего, в несколько приемов и направлены на обеспечение условия нераскрытия пресс-формы ( $P_{зап} > P_{рас}$ ) и требуемого давления прессования, достаточности объема камеры для заливки в нее требуемой дозы расплава.

При использовании машин с горизонтальной холодной камерой прессования, должно также выполняться условие невыплескивания расплава из заливочного окна камеры до его перекрытия пресс-поршнем (на современных машинах литья под давлением камера прессования должна быть заполнена расплавом перед запрессовкой не более чем на 70...75% от ее рабочего объема). В пресс-формах с глубокими неподвижными вставками, решая противоположную задачу, для уменьшения рабочего объема камеры прессования и увеличения степени ее заполнения расплавом в подвижной полуформе устанавливают рассекатель. Эта деталь при запирации пресс-формы входит в камеру прессования и уменьшает ее свободный объем. Она позволяет решить не только первую задачу, но и обеспечивает плавное заполнение пресс-формы расплавом и извлечение пресс-остатка из горизонтальной холодной камеры прессования в случае, когда пресс-поршень не выходит за плоскость разъема при раскрытии пресс-формы и выталкивании пресс-остатка из камеры.

В соответствии с размерами пресс-формы и ее конструкции определяют другие необходимые технические характеристики машины: расстояние между колоннами по горизонтали и вертикали, допустимую наибольшую и наименьшую толщину формы, ход подвижной плиты машины, наибольший ход гидравлического выталкивателя, выход пресс-поршня за плоскость неподвижной плиты. Сопоставляя полученные расчетом и определяемые конструкцией пресс-формы характеристики машины, устанавливают возможность использования данной машины для получения отливки.

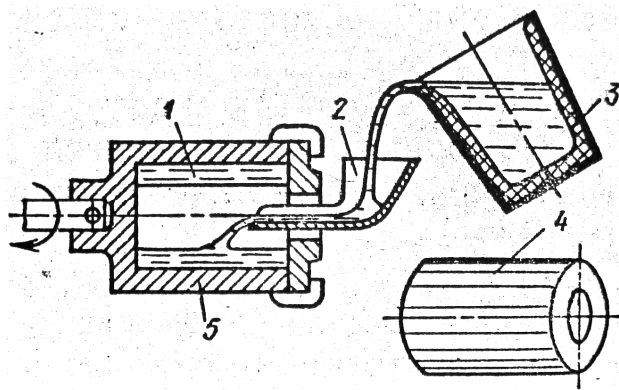


## Тема 2.3 – Центробежное литье

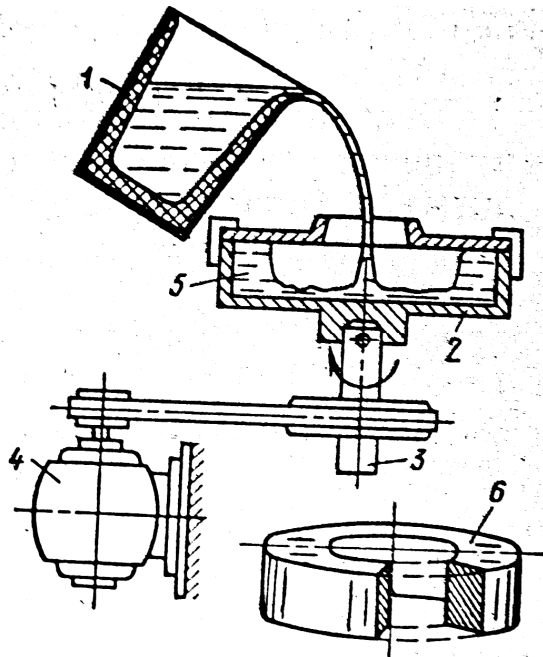
### Сущность способа. основные операции. область использования

Сущность центробежного литья заключается в том, что заполнение формы расплавом и формирование отливки происходит при вращении формы вокруг горизонтальной, вертикальной, наклонной оси или при сложном вращении формы. Это обеспечивает дополнительное воздействие на расплав и затвердевающую отливку поля центробежных сил. Процесс реализуется на специальных центробежных машинах и столах.

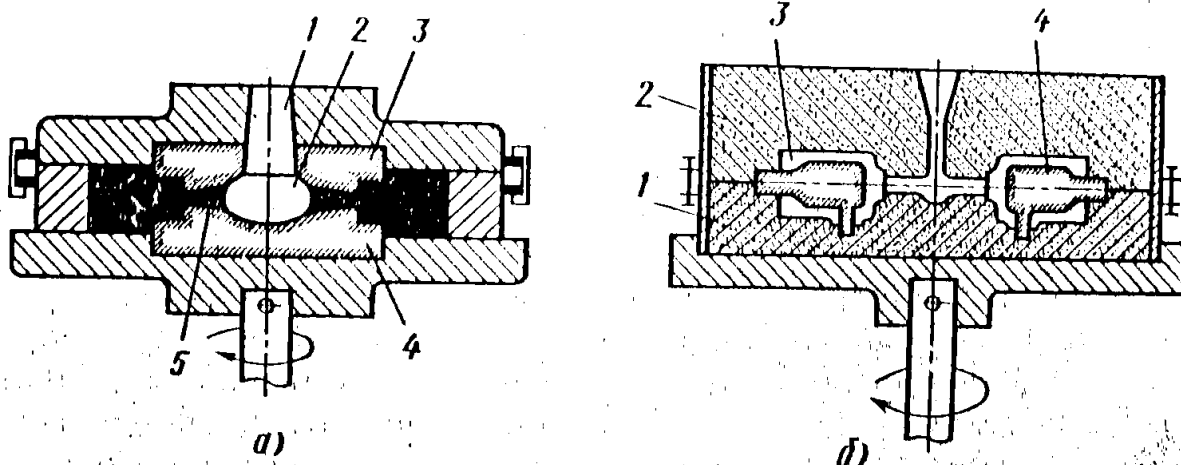
Применяют два варианта способа, при которых расплав заливается в форму: с горизонтальной осью вращения (получают отливки - тела вращения малой и большой протяженности), с вертикальной осью вращения (тела вращения малой протяженности и фасонные отливки).



**Рис. 1** Схема получения отливки при вращении формы вокруг горизонтальной оси. 1- расплав, 2- заливочный желоб, 3- ковш, 4- отливка, 5- форма.



**Рис. 2.** Схема получения отливки при вращении формы вокруг вертикальной оси: 1- ковш, 2- форма, 3- шпиндель, 4- электродвигатель, 5- расплав, 6- отливка.



**Рис. 3.** Схема получения фасонных отливок: а - венцов шестерен, 1- стояк, 2- центральная полость формы, 3 и 4- стержни, 5- прибыль; б - мелких фасонных отливок, 1- нижняя полуформа, 2- верхняя полуформа 3- рабочая полость формы, 4- стержень.

При центробежном литье можно использовать песчаные, металлические, оболочковые и объемные керамические, комбинированные формы.

### Особенности формирования отливки.

1. Заполнение формы и затвердевание отливки происходят в поле действия центробежных сил, во много раз превосходящих силу тяжести.

Силы, действующие во вращающемся расплаве. Действие поля центробежных сил, приходящееся на единицу объема вращающегося расплава, может быть выражено зависимостью

$$\rho_{ц} = \rho \omega^2 r / g,$$

где  $\rho$  - плотность расплава;  $\omega$  - угловая скорость вращения формы;  $r$  - радиус вращения произвольной точки расплава;  $g$  - ускорение свободного падения.

Гравитационный коэффициент  $k = \rho_{ц} / \rho = \omega^2 r / g$  показывает соотношение между центробежными силами и силой тяжести.

2. Удаление неметаллических включений. Если твердая или жидкая частица погружена в расплав и ее плотность отлична от плотности расплава, то действующая на частицу сила со стороны расплава не уравнивается ее собственной центробежной и силой тяжести. Результирующая сила, действующая на погруженную во вращающийся расплав частицу

$$P_{ц} = V(\rho_l - \rho) \omega^2 r,$$

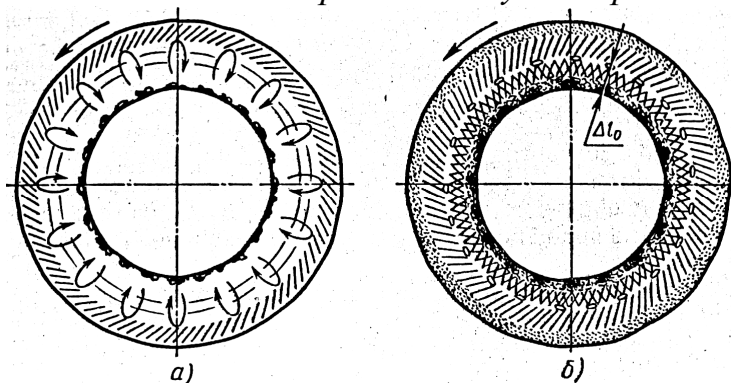
где  $V$  — объем частицы;  $\rho_l$  — плотность частицы. При  $\rho_l > \rho$  сила положительна и частица движется от оси вращения к стенке формы, при обратном соотношении плотностей частица перемещается к оси вращения и всплывает на свободную поверхность расплава.

Инородные частицы (газы, шлак и т. д.), имеющие плотность меньшую, чем расплав, под действием силы, обусловленной разностью плотностей и действием поля центробежных сил, интенсивно всплывают на свободную поверхность расплава. Это приводит к необходимости назначать большие припуски на обработку свободных поверхностей отливок.

*Если твердая частица касается стенки формы, то она прижимается расплавом к стенке и не всплывает. На этом явлении основано применение сыпучих покрытий для металлических форм при центробежном литье.*

*Действие поля центробежных сил обязательно учитывается при разработке систем шлакозадержания и питания, например, песчаных форм для стальных фасонных отливок при их центробежной заливке.*

3. Направленное затвердевание отливки в поле центробежных сил. При изготовлении отливок со свободной поверхностью расплав охлаждается в изложнице неравномерно по объему. Часть теплоты отводится от расплава в стенку изложницы и ее крышку, другая часть — конвекцией и излучением со стороны свободной поверхности. Количество теплоты, отдаваемое воздуху свободной поверхностью отливки, значительно. Воздух в полости отливки вовлекается во вращение и выходит из нее, на его место вдоль оси вращения поступает холодный воздух. Более интенсивна циркуляция в случае вращения формы с расплавом вокруг вертикальной оси вследствие естественного подъема горячего воздуха вверх.



**Рис. 4** Схема возникновения конвективных потоков во вращающемся и затвердевающем расплаве (а) и кристаллического строения отливки (б).

Такая неравномерность охлаждения, особенно толстостенных отливок, приводит к возникновению конвекции в расплаве. Охлажденный более плотный расплав перемещается от свободной поверхности во внутренние слои затвердевающей отливки, а горячий и менее плотный в

*обратном направлении. Вследствие этого в расплаве возникают конвекционные потоки, циркулирующие в радиальном направлении (4, а).*

В условиях центробежного литья реализуется направленное затвердевание отливки в радиальном направлении - тем больше, чем больше угловая скорость вращения.

Таким образом, направленное затвердевание позволяет получить отливки с плотным строением тела, без усадочных дефектов и инородных включений.

4. Возможность возникновения в отливках усадочной пористости , которая располагается под свободной поверхностью отливки. Причина усадочной пористости - соотношение скоростей охлаждения со стороны наружной и внутренней (свободной) поверхности отливки. Чем меньше скорость охлаждения внутренней поверхности и больше со стороны наружной поверхности отливки, тем меньше глубина зоны усадочной пористости.

**Скоростью охлаждения отливки можно управлять:**

1) с наружной стороны это достигается путем:

- изменения толщины или теплофизических свойств огнеупорного покрытия,

- изменением скорости охлаждения формы.

2) со стороны внутренней поверхности:

- можно использовать сыпучие огнеупорные материалы или экзотермические смеси (для отливок из стали такая смесь может иметь состав: 50% железной руды зернистостью 0,63; 26% алюминиевого порошка; 24% кварцевого песка  $1K_3O_2016$ ).

5. Ликвационные процессы. При центробежном способе изготовления отливок ликвация (химическая неоднородность) чаще всего наблюдается в радиальном направлении и реже в осевом. Ликвация происходит при изготовлении отливок из сплавов, компоненты которых взаимно нерастворимы и не образуют эвтектик, химических соединений. К таким сплавам относится, например, свинцовистая бронза. *В некоторых случаях при неправильных режимах литья, ликвация развивается настолько интенсивно, что весь свинец оказывается на поверхности отливки, образуемой изложницей, а медь и другие, менее плотные компоненты - на свободной ее поверхности.* Если сплав содержит компоненты, взаимно растворимые при данном содержании их в сплаве, то ликвация проявляется лишь в обогащении слоев отливки, примыкающих к свободной поверхности менее плотными компонентами сплава и примесями.

Для отливок из чугуна (массивных) в результате ликвации в слоях отливки, расположенных ближе к свободной поверхности, содержится большее количество: углерода, фосфидной эвтектики, включений  $MnS$ ;

В стальных отливках в этих слоях повышается содержание  $P$ ,  $C$ ,  $S$ , концентрируются оксиды, нитриды, силикатные включения.

Как правило, ликвация увеличивается с увеличением скорости вращения формы.

#### 6. Получение отливок ЦЛ с правильной свободной поверхностью

Получение отливки с геометрически правильной свободной поверхностью возможно лишь при определенной угловой скорости вращения (определяющей гравитационный коэффициент). При недостаточной скорости вращения свободная поверхность отливки искажается, повышается ее шероховатость, расплав плохо очищается от неметаллических включений, завышенная скорость может приводить к образованию в отливках трещин, усилению механического пригара и ликвационных процессов.

#### **Преимущества ЦЛ:**

- возможность улучшения заполняемости форм расплавом под действием давления, развиваемого центробежными силами;
- повышение плотности отливок вследствие уменьшения усадочных пор, раковин, газовых, шлаковых и неметаллических включений;
- уменьшение расхода металла и повышение выхода годного благодаря отсутствию литниковой системы при изготовлении отливок типа труб, колец, втулок или уменьшению массы литников при изготовлении фасонных отливок;

исключение затрат на стержни при изготовлении отливок типа втулок и труб.

#### **Недостатки ЦЛ:**

- трудности получения отливок из сплавов склонных к ликвации;
- загрязнение свободной поверхности отливок неметаллическими включениями и ликватами;
- неточность размеров и необходимость повышенных припусков на обработку свободных поверхностей отливок, вызванная скоплением неметаллических включений в материале отливки вблизи этой поверхности и отклонениями дозы расплава, заливаемого в форму.

Область применения ЦЛ: наивысшие ТЭП центробежного способа достигаются при получении пустотелых цилиндрических отливок с различными размерами и массой (длиной до нескольких метров и массой до нескольких тонн): труб различного назначения из чугуна, стали, цветных и специальных сплавов; втулок и гильз для стационарных и транспортных дизелей; колец подшипников качения и др. Большое распространение получило центробежное литье для биметаллических изделий, изделий из сплавов с низкой жидкотекучестью и высоким поверхностным натяжением, при необходимости получения тонкостенных отливок со сложной геометрией и микрорельефом поверхности (например, турбинные диски с лопатками, отливки художественного и ювелирного назначения - серьги, кулоны, перстни и др.).

*Эффективность достигается при этом вследствие возможности получения отливок без стержней, практически без отходов металла на*

*литники и прибыли; получения высокого качества поверхности отливок, не имеющих дефектов усадочного и газового происхождения.*

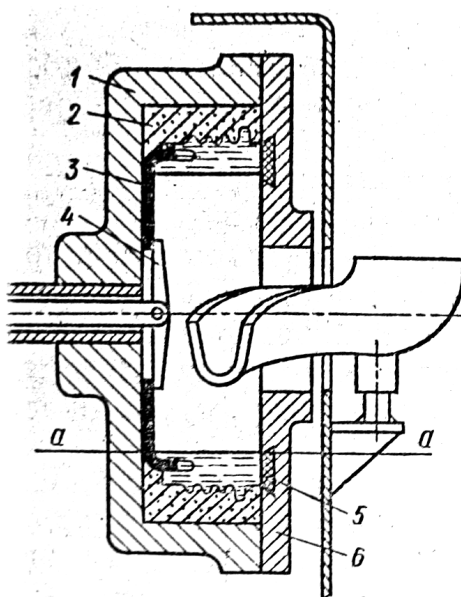
### **Изготовление специальных отливок методом ЦЛ.**

Биметаллические отливки можно изготавливать центробежным способом путем:

- 1) армирования,
- 2) наваркой расплава,
- 3) последовательной заливкой различных сплавов.

**1. Армирование отливок** осуществляют заливкой жидким металлом отдельных металлических частей, выполненных из других материалов. Эти части (арматура) фиксируют в форме при ее сборке. При заливке арматура частично заливается расплавом и прочно скрепляется с основной массой отливки. Связь арматуры с основным металлом имеет, как правило, механический характер.

*Армирование применяют при изготовлении фасонных отливок и тел вращения. Примером может служить технология изготовления отливки тормозного барабана из чугуна (рис. 5.12). В форму 1, футерованную смесью 2 накаткой, устанавливают стальной штампованный диск 3 и фиксируют его пневмозажимом 4. Собранный форму заливают центробежным способом до уровня а – а. Для более прочного соединения диска с материалом отливки его края имеют специальную разделку в виде ласточкина хвоста. В целях предотвращения отбела на торце отливки в крышке 6 формы используют кольцевой паз 5, заполняемый шамотной смесью.*



**Рис. 5.** Схема получения армированного чугуного тормозного барабана. 1- форма, 2- футеровка, 3- арматура, 4- пневмозажим, 5- паз, заполненный шамотной смесью, 6- крышка.

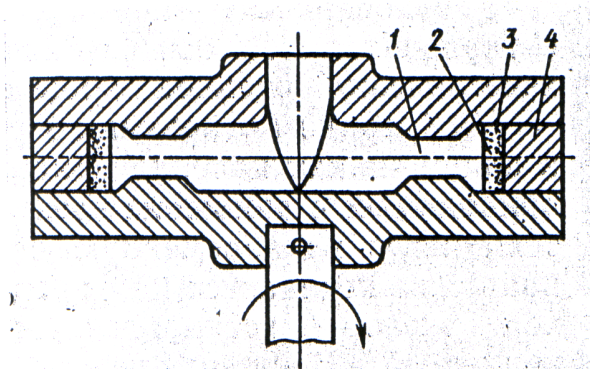
**2. Наварку жидкого металла** на твердую металлическую основу производят путем заливки расплава внутрь заранее отлитой или изготовленной другим способом и установленной в изложницу втулки. При наварке связь расплава со втулкой–твердой основой осуществляется в результате образования химических или механических связей по всей поверхности соприкосновения.

Наваркой расплава на твердую металлическую основу изготавливают подшипниковые втулки, вкладыши, тормозные барабаны.

*При наварке легкоплавких подшипниковых сплавов на стальную или бронзовую основу подготовительные операции сводятся к механической очистке (в отдельных случаях к механической обработке) внутренней поверхности втулки, ее обезжириванию, травлению, промывке и флюсованию. Подготовленные таким образом втулки или вкладыши вставляют в форму центробежной машины и заливают необходимым сплавом.*

**3. Последовательная заливка** во вращающуюся форму двух металлов для изготовления биметаллических отливок предложена инж. П. Е. Ляминим. Второй из металлов, образующий внутреннюю часть отливки, начинают заливать, когда заканчивается затвердевание наружного слоя и только на его свободной поверхности остается немного жидкости. При этом на границе соприкосновения наружной и внутренней частей образуется слой промежуточного сплава толщиной в несколько мм, что обуславливает прочное соединение частей отливки. Этим методом можно соединять сплавы с различными плотностями и температурами плавления независимо от того, какой из них образует наружную или внутреннюю часть отливки.

**4. Получение абразивного инструмента методом центробежной пропитки.** Метод изготовления абразивного инструмента основан на пропитке металлическими сплавами твердых пористых тел под действием центробежных сил.



**Рис. 6.** Схема получения абразивного инструмента методом центробежной пропитки. 1- форма, 2- связующий материал, 3- слой абразива, 4- вставка.

*Круги, применяемые для плоского и кругового шлифования, изготавливают в металлической форме 1 (рис. 5.13), в которую засыпают порцию абразивного материала. Зерна абразива при вращении формы распределяются равномерным слоем 3 по цилиндрической поверхности вставки 4 и прижимаются к ней центробежными силами. Форму нагревают индуктором до температуры примерно 600 °С и заливают в нее порцию сплава, служащего для связывания зерен абразива. Слой связующего 2 плотно прижимается к абразиву, но не проникает в его поры, так как форма вращается с недостаточной для этого скоростью. Затем в рабочую полость формы заливают алюминиевый сплав, предназначенный для образования корпуса инструмента. При последующем резком увеличении скорости вращения под действием возросшего давления связка заполняет поры между зернами абразива, после чего вращающаяся форма охлаждается вместе с отливкой.*

*Состав связки может быть различным и подбирается в соответствии со свойствами абразива. Для предотвращения перемещения зерен абразива, залитых расплавом, необходимо, чтобы образующий тело инструмента сплав был менее плотным, чем связка, а связка менее плотной, чем абразив.*