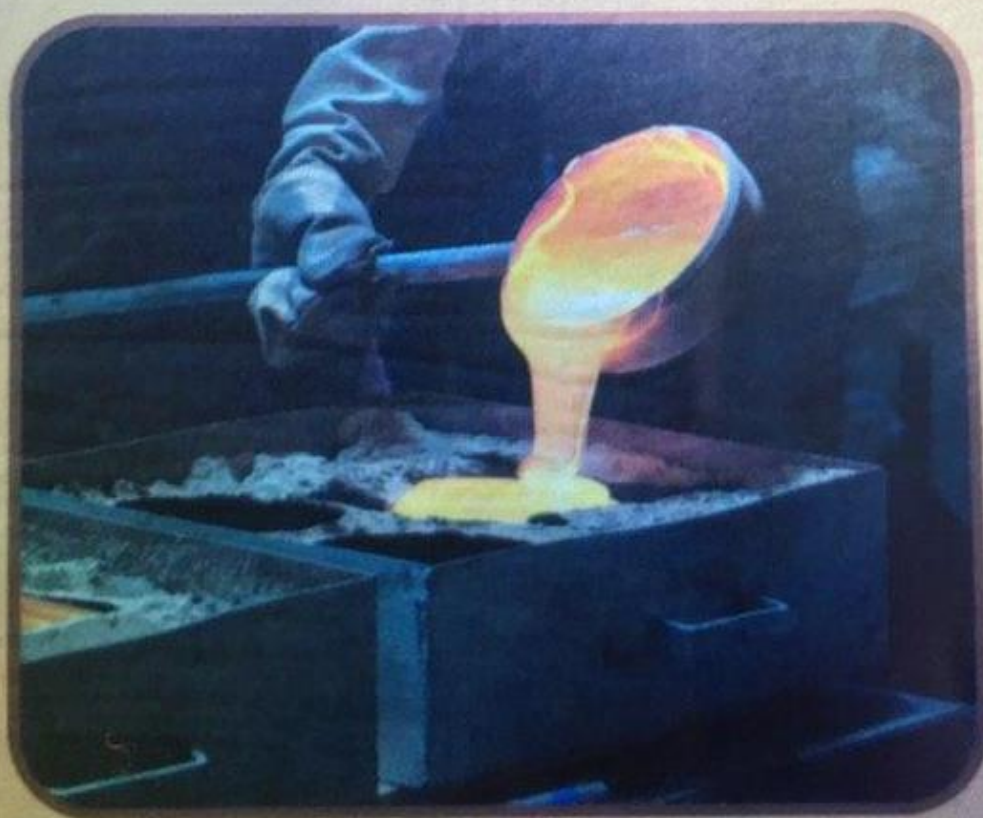




Г.Л.АТАЖАНОВ, Т.С.ХАЛИМЖАНОВ

# ТЕХНОЛОГИЯ ЛИТЬЯ



ТАШКЕНТ

УДК 621.74.(075.8)

Рецензенты:

Р.Михридинов -д.т.н., профессор, зав. Лабораторией ГУП «Фан ва тараккиёт»

А.О. Шазимов- к.т.н. , директор, ЧП «Агрокомплектинвест» .

/Атажанов Г.Л., Халимжанов Т.С. Технология литья. Учебное пособие

-Т.: 2018/

Учебное пособие «Технология литья» составлено в соответствии с учебной программой дисциплины утвержденной приказом МВиССО РУз от 28.06.2017г. № 434 и охватывает теоретические материалы технологии литья, указания к практическим занятиям и лабораторным работам, по самостоятельному обучению, приведены контрольно-измерительные материалы производственного характера.

Рассмотрены основы технологии изготовления отливок и особенности их производства из чугуна, стали и сплавов цветных металлов, и вопросы производства отливок различными способами. Представлены специальные способы литья и библиографический список.

Предназначен для студентов обучающихся по направлению образования «5312800 –Технология литья», им могут пользоваться и студенты обучающегося по специальностям магистратуры «5А320201 –Технология оборудования и машиностроения (литейное производство)», «5А310302-Металлургические машины и оборудование(литейное производство)», «5А312801- Технология литейного производства (цветные сплавы)».

Ташкентский государственный технический университет 2018

## АННОТАЦИЯ

Мазкур ўқув кўлланмада куймани чўян, пўлат ва рангли метал қотишмалардан таёрлаш технологияси асослари ва уларнинг ишлаб чиқариш афзалликлари кўрилган.Шунингдек куйма ишлаб чиқаришнинг ҳар хил турлари ва куймакорлик махсус усуллари тақдим этилган.«5312800 – Куймакорлик технологиялари»бакалаврият таълим йуналиши талабалари учун мўлжалланган,шунингдек «5А310302- Металлургия машиналариважихозлари (Куймакорлик)», «5А312801- Куймакорлик ишлаб чиқариши технологиялари (Рангли қотишмалар)» магистратура мутахасисликларида таълим олаётган талабалар ҳам фойдаланишлари мумкин.

## АННОТАЦИЯ

Рассмотрены основы технологии изготовления отливок и особенности их производства из чугуна, стали и сплавов цветных металлов, и вопросы производства отливок различными способами. Представлены специальные способы литья. Предназначен для студентов обучающихся по направлению образования «5312800 –Технология литья», им могут пользоваться и студенты обучающегося по специальностям магистратуры«5А310302- Metallurgical machines and equipment (foundry)», «5А312801- Foundry technology (non-ferrous alloys)».

## ANNOTATION

The fundamentals of casting technology and features of their production from cast iron, steel and non-ferrous alloys, and the issues of casting in various ways are considered. Special methods of casting are represented.

Designed for students studying in the field of education "5312800-Technology of casting", it can be used by students of the magistracy "5А310302 - Metallurgical machinery and equipment (foundry)", 5А312801- Foundry technology (non-ferrous alloys) »



## ВВЕДЕНИЕ

Литейное производство является основной заготовительной базой машиностроения и оказывает большое влияние на качественные показатели и надежность современных машин и оборудования. Современные отливки должны иметь высокие и регламентированные механические свойства, физические и химические характеристики, а также высокую точность при минимальных толщине стенок и массе.

Сущность получения отливок заключается в том, что расплавленный и перегретый сплав заданного состава заливается в литейную форму, внутренняя полость которой с максимальной степенью приближения воспроизводит конфигурацию и размеры будущего изделия. При охлаждении металл затвердевает и в твердом состоянии сохраняет очертания той полости, в которую он был залит. Большая часть существующих технологий обработки металлов включает стадию получения литой заготовки (слитка). Из этого следует, что наиболее эффективной является литейная технология, позволяющая получать изделия необходимых конфигурации, размеров и свойств непосредственно из расплава при минимальных затратах энергии, материалов и труда.

Теория и практика литейного производства на современном этапе позволяет получать изделия с высокими техническими свойствами. Свидетельством тому является надежная работа отливок в реактивных двигателях, атомных энергетических установках, других машинах и установках ответственного назначения. В последние годы объем производства по массе стабилизировался. Основная тенденция развития заключается в росте качества отливок, повышении точности их размеров, снижении металлоемкости. Все это вместе взятое обеспечивает рост количества выпускаемых отливок.

В настоящем учебном пособии приведены вопросы технологии литья, способы назначения технологического оборудования, способы получения отливок из сплавов и специальные способы литья.

Структура учебного пособия построена таким образом, чтобы можно было использовать каждую её главу независимо от остальных. Для облегчения усвоения материала в каждой главе приведены примеры и контрольные вопросы.

# 1 ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ТЕХНОЛОГИИ ЛИТЬЯ

## 1.1 Развитие технологии литья

1. Примитивная технология - от начала возникновения до XIV в. н.э. (примерно 5800 лет). На этом этапе отливки изготовляли преимущественно из медных сплавов и бронз: в начале периода - из меди, в конце - частично из драгоценных металлов. Существовало четыре способа литья: формы, полученные вдавливанием эталона (модели) во влажную глину; каменные формы; глиняные формы, полученные по восковым моделям; начиная с VII в. н.э. формы, изготавливаемые по шаблонам вращения (котлы).

2. Ремесленная технология - от XIV в. до середины XIX в. (около 550 лет). Четырнадцатый век стал переломным в истории литейного производства и металлургии. Возникло производство чугуна, - резко расширились масштабы производства металлических изделий; литье превратилось в самостоятельное ремесло и приобрело серийный характер. Появился ряд способов литья в песчано-глинистые формы, получаемые в опоках по извлекаемым моделям. Первоначально применяли естественные песчано-глинистые пески, заменяемые позднее синтетическими смесями. Для улучшения их свойств в формовочные смеси вводили вино, мочу, солевые растворы, уксус, сусло и др. Получили дальнейшее развитие шаблонная формовка, изготовление форм в почве и в кусках (художественная). Модели делали только из дерева. К концу этапа начали применять кокильное литье.

3. Промышленная технология - от середины XIX в. до конца XX в. В это время организуется механизированное массовое производство огромного числа отливок из чугуна, стали, промышленных сплавов на любой основе и неметаллических материалов. Создаются новые способы машинного изготовления форм путем прессования, встряхивания, пескометом из формовочных смесей на основе песка и других огнеупорных материалов. Разрабатываются многочисленные специальные способы литья в металлические и оболочковые формы. Происходит химизация литейного

производства, ведущая к применению широкого ассортимента синтетических связующих добавок в формовочные смеси.

4. Автоматизация - конец XX в. Он характеризуется созданием автоматических линий формовки, применением роботов при выполнении тяжелых операций, автоматизацией технологической подготовки литейного производства.

**5. Краткий обзор развития литейного производства.** Известно что литье металлов и сплавов в России производилось со времен начала Русского государства, т.е. еще в Киевской Руси. Однако значительное развитие литейное дело получило со времен объединения Руси Иваном III под главенством Москвы. С этих пор начинается в больших масштабах отливка пушек сначала из бронзы, а затем из чугуна. Русская артиллерия того времени становится самой мощной в мире.

С расширением литейного производства совершенствовались и его техника и технология. С тех пор благодаря талантности русских мастеров литейное производство развивалось быстрыми темпами и появилась много замечательных памятников и непревзойденных образцов отливок.

Так, в 1586 г. знаменитым московским литейщиком Андреем Чоховым была отлита находящаяся настоящее время в Московском Кремле бронзовая Царь-пушка, или Дробовик, весом 2400 пуд. (39400 кг), калибром 730 мм, с весом ядра 120 пуд. (1970 кг) и заряда пороха 30 пуд. (490 кг).

Во времена Петра I в связи с многочисленными войнами, увеличился спрос на чугунные пушки, ядра и гранаты. По этой причине возникает и развивается огромная по тому времени «Уральская металлургия» (первая половина XVIII в.) и появляется постройка ряда самостоятельных литейных заводов, не зависящих от доменных металлургических заводов. На этих новых заводах получали чугун уже путем переплавки доменного чушкового чугуна и лома в вагранках и пламенных печах. Этим было положено начало самостоятельному чугунолитейному производству [1].

В области литейных сплавов, применяемых для фасонного литья, процесс развития литейного производства характеризуется, прежде всего, научным изучением свойства чугуна как литейного материала и повышением его прочностных свойств. Нормы прочности отливок из перлитного чугуна были резко повышены по сравнению со старыми нормами на обычный серый чугун.

В 30-х годах появляется чугун еще более высокого класса - модифицированный, получаемый с помощью малых добавок в ковш. Наконец, современный чугун со сфероидальным графитом, получаемый с помощью модифицирования жидкого чугуна в ковше магнием, церием и др., имеет примерно вдвое более высокую прочность по сравнению с обычным серым чугуном и обладает значительной пластичностью.

В области технологии литейного производства основное внимание было направлено главным образом на разрешение проблемы точности отливок и снижения их трудоемкости. Сюда относятся такие средства, как научное изучение и улучшение формовочных и стержневых материалов с применением новых их видов. Возможности получения точных и хорошего качества отливок еще более расширились благодаря разработанным методам скоростной формовки с применением быстросохнущих смесей и продувки форм углекислотой, применению для крупных отливок оболочковых форм на основе химически твердеющих смесей. Вследствие возросшей точности получаемых отливок стало возможным резкое сокращение объема их механической обработки, что значительно снижает трудоемкость и стоимость деталей машин на заводе. Это направление на дальнейшее сокращение обработки резанием за счет овладения гарантированной точностью геометрии отливок, особенно крупногабаритных и сложных, и является, пожалуй, главным в современном производстве машиностроительного литья.

## **1.2 Основные понятия и определения технологии литья**

**Литьё** – заливка расплавленного металла в литейную форму в котором происходит её затвердевание. Применяется как в массовом (детали автомобилей), так и в единичном производстве (скульптура, ювелирные изделия или массивные детали машин). Сталь и чугун заливается в форму в основном из кварцевого песка. Для металлов с более низкой температурой плавления (алюминий, цинк) литейная форма может быть изготовлена из другого металла или песка. Металлические сплавы из которых изготавливают турбинные лопасти которые должны выдерживать высокую температуру и напряжение двигателей.

**Литейная форма** – полость, в которой жидкая или пластичная субстанция принимает форму конечного продукта. Расплавленная субстанция, металл или пластик, заливается или нагнетается под давлением в форму и в ней затвердевает. Литейные формы в зависимости от назначения изготавливают из различных материалов, для литья металлов используется песок, для пластмассовой формы - из закаленной стали, в некоторых случаях используется гипс.

Литейная форма есть «система элементов, образующих рабочую полость, при заливке которой расплавленным металлом формируется отливка». Элементы, образующие рабочую полость, изготавливают по отдельности, и при сборке они составляют литейную форму. Ниже приведены элементы формы.

**1. Основные части формы.** Они образуют те поверхности рабочей полости, которые оформляют преимущественно внешние поверхности отливки. Внешние боковые поверхности частей формы образуются опокой либо стенками кессона. В первом случае с частью формы можно производить сборочные, транспортные или иные манипуляции; во втором случае соответствующая часть формы неподвижна. Если формовка производится в двух опоках, то при заливке их называют верхней и нижней полуформами. В тех случаях, когда после изготовления части формы опока снимается, а при заливке для

прочности заменяется кожухом, формовку называют безопочной. Поверхность соприкосновения двух полуформ называют разъемом.

2. **Литейные стержни** образуют те поверхности рабочей полости, которые оформляют преимущественно внутренние поверхности отливки, создавая в них полости и углубления. Сборочные и транспортные операции со стержнями выполняются с помощью знаков. Знаки представляют собой выступы на стержнях, вставляемые при сборке в соответствующие углубления форм.

3. **Холодильники**, создающие условия для ускоренного охлаждения отдельных частей отливки.

4. **Жеребейки**, обеспечивающие правильное положение стержней в формах. Подавляющее большинство неметаллических материалов, из которых изготавливаются литейные формы, являются дисперсными системами, основу которых образуют зерна огнеупорных соединений, чаще всего кварца. Такие системы называют формовочными материалами. Различают исходные формовочные материалы и приготавливаемые из них формовочные смеси, подразделяемые на собственно формовочные смеси и стержневые смеси.

### **1.3 Основные понятия литейного производства**

Сущность литейного производства сводится к получению жидкого, т.е. нагретого выше температуры плавления сплава необходимого состава и качества и заливке его в заранее подготовленную форму. После охлаждения металл затвердевает и сохраняет конфигурацию той полости, в которую он был залит. Таким образом, чтобы изготовить отливку, необходимо:

1) определить материалы, которые нужно ввести в шихту для плавки, произвести их расчет, подготовить эти материалы (разделить на куски, отвесить нужное количество каждого компонента); загрузить материалы в плавильную печь;

2) осуществить плавку - получить жидкий металл необходимой температуры, жидкотекучести, должного химического состава, без неметаллических включений и газов, способный при затвердевании образовать мелкокри-

сталлическую структуру без дефектов с достаточно высокими механическими свойствами;

3) до окончания плавки приготовить литейные формы (для заливки в них металла), способные, не разрушаясь, выдерживать высокую температуру металла, его гидростатическое давление и размывающее действие струи, а также способные пропускать через поры или каналы выделяющиеся из металла газы;

4) произвести выпуск металла из печи в ковш и доставить его к литейным формам; выполнить заливку литейных форм жидким металлом, не допуская перерывов струи и попадания в форму шлака;

5) после затвердевания металла раскрыть формы и извлечь из них отливки;

6) отделить от отливки все литники (металл, застывший в литниковых каналах), а также образовавшиеся (при некачественной заливке или формовке) приливы и заусеницы;

7) очистить отливки от частиц формовочной или стержневой смеси;

8) осуществить контроль качества и размеров отливок.

В настоящее время наибольшее число отливок получают в разовых (песчаных) формах, выполняемых из формовочной смеси, состоящей из кварцевого песка, огнеупорной глины и специальных добавок. После затвердевания металла форму разрушают и извлекают отливку. Кроме разовых, применяют полупостоянные формы, изготовленные из высокоогнеупорных материалов (шамота, графита и др.), они используются для заливки нескольких десятков (50-200) отливок, и постоянные формы - металлические, они служат для получения нескольких сотен, а иногда и тысяч отливок до износа формы. Выбор литейной формы зависит от характера производства, рода заливаемого металла, требований, предъявляемых к отливке.

#### **1.4 Основные методы литья**

**1. Литьё под давлением**— способ придания форме металлическим предметом путем заливки расплавленного металла под давлением в литейной



форме или изложницы. Одно из ранних и важных применений этого метода в машине Линотип (1884), но бурное развития литья под давлением связано с его внедрением на автоматических линиях для производства автомобилей. Способ обладает высокой точностью и позволяет отливать тонкостенные детали для швейных машин и автомобилей, в т.ч. алюминиевые блоки цилиндров

**2. Литьё в оболочковые формы (презизионное литьё)** – литьё для получения металлических отливок с высокой точностью воспроизведения деталей. Литьё бронзы или драгоценных металлов обычно состоит из нескольких типовых операций: формовка материала (огнеупорного) окружающего модель; разделили формы на две или более секции с фиксаторами для последующего крепления; покрытие формы изнутри воском; формование внутри литейной формы из огнеупорной глины; обжиг устройства (при этом происходит упрочнение глины и расплавление воска, вытекающего через специальные отверстия) ; заливка расплавленной бронзы в полость образующегося после выплавления воска; разборка литейной формы изделия отливки. В современном литейном производстве вместо воска используется пластик или иногда замороженная ртуть.

**3. Литьё по выплавляемым моделям** - традиционный метод изготовления литейных форм для металлических скульптур и других типов литья с полостью внутри. Для этого готовится сердцевина, из огнеупорного материала, на которую наносится слой воска. Затем по воску точно воспроизводится будущее изделие. Изготовленная модель облицовывается тонкодисперсным огнеупорным порошком и связывающим веществом. При нагреве облицовки спекается и твердеет, а воск вытекает. В образующуюся полость заливается расплавленный металл. Таким же способом можно получить отливки отдельных элементов. Когда металл затвердевает, сердечник и формовочная смесь удаляется.

Литейная технология может быть реализована различными способами. Последовательность технологического процесса получения отливок в

разовой песчаной форме приведена на рис. 1.



Рис.1. Схема технологического процесса получения отливки

Весь цикл изготовления отливки состоит из ряда основных и вспомогательных операций, осуществляемых как параллельно, так и последовательно в различных участках литейного цеха. Модели, стержневые ящики и другую оснастку изготавливают, как правило, в модельных цехах.

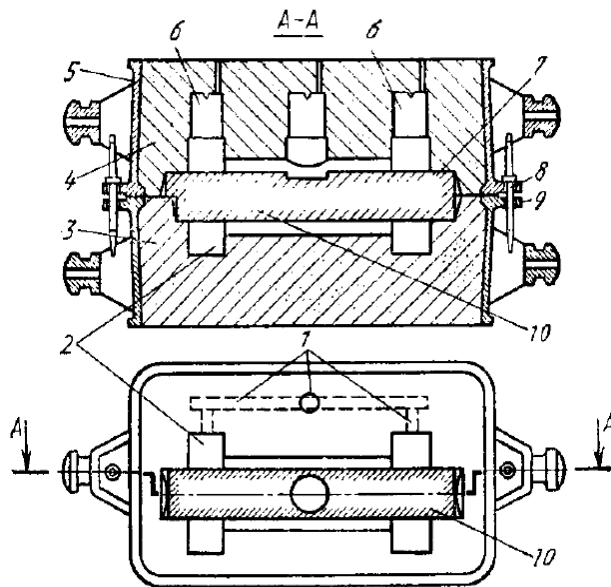


Рис.2.Литейная разовая песчаная форма: 1- литниковая система; 2- полость формы; 3- нижняя полуформа; 4- верхняя полуформа; 5- опока; 6- прибыли; 7- знаковая часть стержня; 8- штырь; 9- втулка; 10- стержень

Литейная разовая песчаная форма (рис. 2) в большинстве случаев состоит из двух полуформ: верхней 4 и нижней 3, которые получают уплотнением формовочной смеси вокруг соответствующих частей (верхней и нижней) деревянной или металлической модели в специальных металлических рамках — опоках 5. Модель отличается от отливки размерами, наличием формовочных уклонов, облегчающих извлечение модели из формы, и знаковых частей 7, предназначенных для установки стержня 10, образующего внутреннюю полость (отверстие) в отливке. Стержень изготавливают из смеси, например песка, отдельные зерна которого скрепляются при сушке или химическом отверждении специальными крепителями (связующими). В верхней полуформе с помощью соответствующих моделей выполняется воронка и система каналов 1, по которым из ковша поступает литейный сплав в полость формы 2, и дополнительные полости - прибыли 6.

После уплотнения смеси модели собственно отливки, литниковой системы и прибылей извлекают из полуформ. Затем в нижнюю полуформу

Зустанавливают стержень 10 и накрывают верхней полуформой. Необходимая точность соединения обеспечивается штырями 8 и втулками 9 в опоках. Перед заливкой сплава во избежание поднятия верхней полуформы жидким расплавом опоки скрепляют друг с другом специальными скобами или на верхнюю опоку устанавливают груз.

В разовых песчаных формах производят ~80 % всего объема выпуска отливок. Однако точность и чистота их поверхности, условия труда, технико-экономические показатели не всегда удовлетворяют требованиям современного производства.

В связи с этим все более широкое применение находят специальные способы литья: по выплавляемым (выжигаемым) моделям, в металлические формы, под давлением, центробежным способом, вакуумным всасыванием, намораживанием и т. д. Отливки различных размеров, сложности и назначения из сплавов, существенно отличающихся по своим свойствам, нельзя изготовлять одинаковыми способами. В связи с этим получили распространение разнообразные технологические процессы, отличающиеся специфическими производственными приемами. Следует также отметить, что преимущественное развитие получают технологические процессы, позволяющие в максимальной степени механизировать и автоматизировать производство.

## **2.ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ЛИТЕЙНОГО ПРОИЗВОДСТВА**

### **2.1.СХЕМЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПОЛУЧЕНИЯ ОТЛИВОК**

Во многих случаях литье - единственно возможный способ получения заготовок сложной формы. Сравнивая метод получения фасонных заготовок деталей машин путем отливки с другими методами получения фасонных заготовок - ковкой или штамповкой и сваркой, необходимо отметить следующие преимущества метода отливки:

1. С помощью отливки можно получить заготовки практически любой сложности по конфигурации.

2. Припуски на механическую обработку в отливках могут быть весьма небольшими. Это преимущество литых заготовок имеет весьма большое технико-экономическое значение, так как механическая обработка деталей является наиболее дорогостоящим процессом во всем цикле машиностроительного производства.

3. Утилизация отходов металла в литейном производстве (литник и брак) не требует значительных затрат средств и времени. Указанные отходы нуждаются лишь в переплавке, и полученный из них жидкий металл снова используется непосредственно для заливки новых деталей.

4. В литейном производстве не требуется столь дорогостоящего и тяжелого оборудования, как в ковочно-штамповочном. Поэтому постройка, монтаж и запуск литейного цеха не требуют столь больших капиталовложений и по срокам осуществляются значительно. Это преимущество литья представляет особую ценность в условиях, когда требуется максимальная быстрота перестройки или запуска производства на новый вид продукции.

Эффективность литейного производства может характеризовать коэффициент использования металла (КИМ) - отношение масс детали и заготовки (табл. 1).

Таблица 1

Ориентировочные значения КИМ различных заготовок

Вид заготовки	КИМ
Литье под давлением	0,95
Литье по выплавляемым моделям	0,90
Литье по газифицированным моделям	0,85
Литье в оболочковые формы	0,80

Литье в кокиль	0,75
прод. табл. 1	
Литье в песчаные формы	0,70
Профильный прокат	0,60
Штамповка (горячая)	0,40
Прутки катаные	0,35
Ковка свободная	0,30

Суть литейного производства состоит в том, что фасонные детали (заготовки) получают заливкой жидкого металла в литейную форму, полость которой соответствует их размерам и форме. После кристаллизации металла литейную деталь (заготовку), называемую отливкой, удаляют из литейной формы и в случае необходимости отправляют в механический цех для последующей обработки.

Общая схема технологического процесса изготовления отливки приведена на рис. 1. Технология изготовления отливки начинается с разработки ее чертежа и рабочих чертежей модельного комплекта (модели и стержневого ящика).

В состав литейного цеха входят отделения: модельное, смесеприготовительное, стержневое, формовочное, плавильное, выбивное, обрубное, очистное.

В модельном отделении по рабочим чертежам изготавливают модельный комплект; в смесеприготовительном - формовочную и стержневую смеси; в формовочном - литейную форму; в стержневом - стержни; в плавильном получают жидкий металл.

Готовую литейную форму заливают жидким металлом и после его затвердевания в отделении выбивки отливку удаляют из формы, обрубуют литниковую систему и очищают от пригара в очистном отделении. Заключительной операцией является контроль качества отливки.

**Выбор технологического процесса формовки.** Выбор технологического процесса для конкретного отделения тесно связан с общими и специальными требованиями, которые предъявляются к готовым отливкам по геометрической точности, эксплуатационной надежности и шероховатости поверхности, герметичности, коррозионной стойкости и др.

В табл. 2 приведены характеристики способов получения отливок в разовой форме и специальными способами.

Каждый из способов имеет свои достоинства, недостатки и определенные области применения в зависимости от вида сплава, габаритов и массы отливки, серийности производства. Этому вопросу посвящены многие литературные источники, а выбор для проектируемого цеха одного или нескольких процессов будет определяться в зависимости от производственной программы. При этом важным обстоятельством при выборе процесса должна быть производительность оборудования отделения и качество литья [2, 3].

Таблица 2

Классификация и область применения различных способов литья

Способ производства отливок	Область применения	Характеристика литья	
Литье в песчаные формы	Машинная формовка	Механическая обработка без разметки с гарантийными припусками на механическую обработку	
	Прессовые машины		Индивидуальное, серийное и массовое производство отливок любых сплавов
	Встряхивающие машины		Для мелких и средних отливок небольшой высоты
	Пескометы		Для крупных отливок, различных по весу и габаритам
	Пескодувно-прессовые машины		Для крупных и средних по весу и габаритам отливок
		Для мелких и средних по весу и габаритам отливок	

Литье в кокиль	Массовое и серийное производство мелких и средних по весу и габаритам отливок простой и средней сложности из любых сплавов	Высокое качество поверхности, малые припуски на обработку
прод. табл.2		
Центробежное литье на машинах	Индивидуальное, серийное и массовое производство отливок из любых сплавов, имеющих форму тел вращения со свободной поверхностью	Высокое качество поверхности, малые припуски на обработку
Литье под давлением	Крупносерийное и массовое производство отливок из цветных сплавов, мелких и средних по весу и габаритам	Высокий класс точности размеров и чистоты поверхности, не требующей механической обработки
Литье по выплавляемым моделям	Мелкосерийное, серийное и массовое производство отливок, требующих сложной механической обработки при обычных методах, а также для деталей из материалов, трудно поддающихся механической обработке	Высокий класс точности размеров и чистоты поверхности, не требующей механической обработки

**Типы литейного производства.** Различают следующие основные типы литейного производства: единичное, серийное и массовое.

Единичное производство характерно выпуском в небольших количествах самых разнообразных отливок. При этом выпуск отдельных отливок может периодически повторяться. Примером единичного производства может служить выпуск отливок для ремонтных целей в литейных мастерских небольшой мощности или производство очень крупных единичных так называемых уникальных отливок массой в несколько десятков и сотен тонн.

Серийное производство отличается периодическим выпуском отливок ограниченной или широкой номенклатуры значительными или небольшими партиями. Серийное производство в машиностроении занимает среднее положение между массовым производством, к которому приближается крупносерийное, и единичным, к которому приближается мелкосерийное (таб.3).



Таблица 3

Нормы определения серийности производства отливок из чугуна и стали

Распреде- ление отливок по массе, кг	Годовой выпуск отливок одного наименования (номенклатуры), шт.				
	Единичное, не более	Мелкосе- рийное	Серийное	Крупносе- рийное	Массовое
до 20	300	300-3000	3000- 35000	35000- 200000	свыше 200000
20-100	150	150-2000	2000- 15000	15000- 100000	свыше 100000
100-500	75	75-1000	1000-6000	6000-40000	свыше 40000
500-1000	50	50-600	600-3000	3000-20000	свыше 20000
1000-5000	20	20-100	100-300	300-4000	свыше 4000
5000-10000	10	10-50	50-150	150-1000	свыше 1000
свыше 10000	5	5-25	25-75	свыше 75	-

Массовое производство характерно выпуском в течение более или менее длительного времени отливок определенной номенклатуры в больших количествах.

Тип производства оказывает большое влияние на выбор методов литья и технологию изготовления отливок, на характер применяемого оборудования и организацию труда в литейном цехе. Если единичное производство характерно применением ручного труда, частичной механизацией производственных процессов, то в серийном и особенно в массовом производствах рационально использовать технически совершенное и высокопроизводительное

оборудование, специальные приспособления и аппаратуру, обеспечивающие высокую производительность и качественное выполнение операций.

## 2.2. ФОРМОВОЧНЫЕ И СТЕРЖНЕВЫЕ СМЕСИ.

Для получения качественных отливок в песчаных формах большое значение имеют формовочные смеси, качество которых зависит от качества исходных материалов.

К формовочным материалам относятся все материалы, используемые для изготовления разовых форм и стержней.

Исходные формовочные материалы делят на две группы:

1) основные:

- огнеупорный наполнитель (кварцевый песок, циркон, магнезит и др.);

- связующие материалы, обеспечивающие прочность связи частиц наполнителя (глина, жидкое стекло, лигносульфонат технический, смолы и др.);

2) вспомогательные материалы - различные добавки (торф, опилки, уголь и др.), придающие смесям определенные свойства (газопроницаемость, податливость, непригораемость и т.д.).

**Наполнители.** К наполнителям относятся кварцевый песок, электрокорунд, шамот и другие материалы.

**Кварцевые пески.** В качестве огнеупорной основы формовочных и стержневых смесей наибольшее распространение получил кварцевый песок из-за высокой огнеупорности, прочности и твердости, дешевизны.

Основу песков составляет кремнезем  $\text{SiO}_2$ , имеющий температуру плавления  $1713^\circ\text{C}$ , твердость (по шкале Мооса) 7, плотность  $2,5\text{-}2,8\text{ г/см}^3$ . Наряду с кремнеземом в формовочных песках присутствуют вредные примеси (полевой шпат, слюда, окислы алюминия, железа и другие соединения), ухудшающие свойства песка.

Формовочные пески в зависимости от массовой доли глинистой составляющей (обломков зерен кварца и других минералов размером менее

0,02 мм) подразделяют на кварцевые, тощие и жирные. Кварцевые пески содержат до 2 % глинистой составляющей, тощие пески - от 4 до 12 %, жирные пески - от 12 до 50 %.

Кварцевые пески используют для изготовления форм и стержней при получении отливок из стали и чугуна, тощие и жирные - для изготовления форм при производстве отливок из цветных сплавов и мелких чугунных отливок. Тощие пески можно применять для приготовления формовочных смесей при производстве чугунных и стальных отливок с использованием противопригарных покрытий.

**Электрокорунд.** Безводный оксид алюминия существует в нескольких модификациях. Плотность корунда составляет от 3,98 до 4,01 г/см<sup>3</sup> в зависимости от наличия примесей. Температура плавления 2050 °С. Твердость 9 по шкале Мооса. Электрокорунд широко применяют при литье титановых сплавов по выплавляемым моделям.

**Циркон**(силикат циркония) состоит из ZrO<sub>2</sub> (63 %) и SiO<sub>2</sub> (32 %). Это природный минерал плотностью 4,6 г/см<sup>3</sup>. Температура плавления 2600 °С. Твердость по шкале Мооса 7,5. Циркон используют в качестве наполнителя облицовочных смесей и противопригарных красок при изготовлении отливок из стали и чугуна.

**Дистенсиллиманит** состоит из природных алюмосиликатных материалов - Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (57 %) и SiO<sub>2</sub> (39 %). Плотность 3,5 г/см<sup>3</sup>. Огнеупорность 1830 °С. Его применяют главным образом при литье по выплавляемым моделям, а также в качестве наполнителя облицовочных смесей и противопригарных красок при изготовлении особо сложных стальных отливок при литье в песчаные формы.

**Промышленные огнеупорные отходы.** Наиболее широко используют отработанную смесь - собственные отходы литейных цехов, которые могут использоваться повторно (песчано-глинистые смеси).

У отработанной песчано-глинистой смеси восстанавливают частично свойства следующими последовательными операциями: раздавливанием

комков, магнитной сепарацией, аэрацией. После подготовки ее используют как основной огнеупорный материал с небольшими добавками свежих материалов (5-10 %) в единых смесях. Качество отработанной смеси зависит от свойств исходных компонентов.

Смеси на выгорающих связующих (масле, декстрине и пр.) также могут использоваться повторно. Жидкостекольные и смоляные смеси повторно использовать нельзя, так как они представляют собой твердоспеченные куски различных размеров.

**Связующие материалы** определяют прочностные характеристики смесей и красок в исходном и нагретом состояниях. В литейном производстве в качестве связующих используется большое количество материалов.

Основными характеристиками связующих являются прочность на сжатие смеси связующего с песком в отвержденном состоянии, температура начала деструкции и количество выделяющихся при этом газов.

Анализ существующих тенденций в отечественной и зарубежной промышленности показал, что в качестве связующего для изготовления форм целесообразно применять, прежде всего, огнеупорную глину, жидкое стекло, синтетические смолы; для изготовления стержней - жидкое стекло с порошкообразными и жидкими отвердителями, фенолфурановые, фенолформальдегидные, карбамидно-фурановые, а также фосфатные связующие.

**Формовочные огнеупорные глины** представляют собой горные породы, которые состоят из тонкодисперсных частиц водных алюмосиликатов, обладающих высокой связующей способностью и термохимической устойчивостью, а также пластичностью после увлажнения.

Кроме указанных выше минералов глины содержат ряд примесей (кварц, полевые шпаты, слюды, карбонат, гипс, окислы и сульфиды железа), ухудшающие качество глин.

По содержанию глинистых минералов формовочные глины делят на три вида:

Вид глины	Обозначения вида	Основной породообразующий минерал
Бентонитовая	Б	Монтмориллонит
Каолиновая и каолино-гидроslюдистая	К	Каолинит и каолинит с гидроslюдой
Полиминеральная	П	Любой глинистый минерал

В соответствии с ГОСТами «Глины формовочные огнеупорные» глины классифицируют в зависимости от их химических и физических показателей.

*Добавки* служат для регулирования технических свойств смесей. Добавки к наполнителям используют обычно в виде тонкодисперсных материалов (порошков), увеличивающих плотность смеси. Они повышают прочность смеси за счет активации системы «наполнитель - связующее», препятствуют проникновению металла в форму как порозаполнители.

Добавки к связующему бывают нескольких типов: отвердители, пенообразователи (поверхностно-активные вещества - ПАВ) и модификаторы.

*Основные требования, предъявляемые к смесям.* Все свойства смесей делятся на технологические, рабочие и общие.

*К технологическим свойствам* смесей относятся прочность во влажном и упрочненном состояниях, выбиваемость, осыпаемость, текучесть, живучесть и долговечность; *к рабочим* прочность в нагретом состоянии, огнеупорность, податливость, газотворность и газопроницаемость, поверхностная прочность, склонность к пригару и теплофизические характеристики смесей. *Общие свойства* зависят от свойств исходных формовочных материалов и определяют объемную массу, пористость, зерновой, минералогический и химический составы. От комплекса свойств

смесей наравне с технологическими особенностями зависит качество отливок.

*Процессы, протекающие при уплотнении и упрочнении смеси.* В разрыхленном состоянии смесь, выпущенная из смесителя, имеет очень малую прочность. В процессе уплотнения смеси ее прочность увеличивается, что дает возможность использовать смеси, упрочненные только уплотнением при формовке по-сырому.

Для уплотнения смеси применяют различные способы: уплотнение трамбовками, прессование, вибропрессование, встряхивание, вдвухание и выстреливание смеси (пескодувный и пескострельный способы), метание порций смеси (пескометный способ), вакуумирование форм и др. В процессе уплотнения смеси изменяется ее структура и возрастает плотность.

Под технологически необходимой степенью уплотнения следует понимать распределение плотности формовочной смеси в форме, обеспечивающее получение бездефектных отливок. Общее положение о том, что в большинстве случаев качественные отливки получаются при относительной плотности смеси 85-90 % от максимально возможной для данного состава, было экспериментально подтверждено при изготовлении отливок разных конфигураций. Были выделены 3 группы сложности моделей (рис. 3) [2, 3].

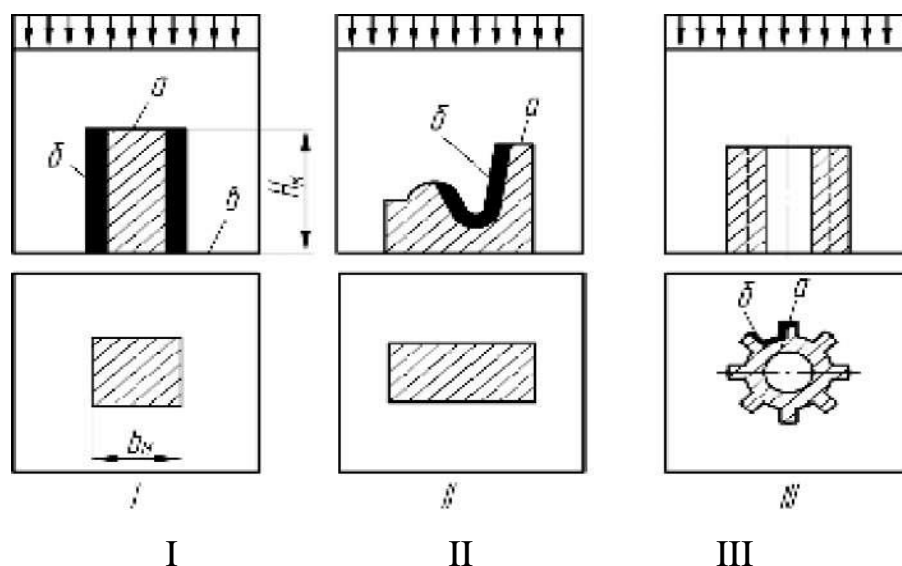


Рис. 3. Группы сложности моделей

К группе *I* отнесены модели с отношением высоты  $H_m$  к поперечному размеру  $b_m$ , значительно превышающим 1. К группе *II* отнесены модели, имеющие сравнительно небольшую высоту, но сложный контур поверхности. Трудноуплотняемым местом в этом случае оказывается поверхность кармана *б*. Для моделей группы *III* трудноуплотняемыми являются «межреберные» цилиндрические поверхности с большой высотой по образующей, перпендикулярной к разьему, а также вертикальные поверхности образующие конфигурацию ребер (поверхности *а* и *б*).

В табл. 4 определены трудно уплотняемые поверхности при уплотнении форм с моделями различных групп и приведены ориентировочные значения минимально допустимой плотности смеси для возможности получения качественных отливок (абсолютные и относительные значения).

Таблица 4

Минимально допустимые плотности смеси

Вид поверхности	Группа моделей	Минимально допустимая плотность смеси	
		г/см <sup>3</sup>	%
Цилиндрические поверхности, перпендикулярные к ладу полуформы	I	1,55	80
Криволинейные полости различной глубины	II	1,55-1,65	80-85

прод. табл.4

Межреберные цилиндрические поверхности с большой высотой по образующей	III	1,55 - 1,65	80 - 85
--	-----	-------------	---------

Приведенные в таблице абсолютные и относительные значения плотностей получены применительно к смесям конвейерной формовки, имеющим следующий уровень свойств: прочность на сжатие 0,06 МПа, влажность 4,3 %, газопроницаемость 126 ед., текучесть по Г.М. Орлову 60-70 %. Значение максимально возможной плотности для данной смеси принималось равным 1,94 г/см<sup>3</sup>. Коэффициент неравномерности уплотнения для выделенных групп моделей составлял 0,9-0,95 [2, 3].

### **2.3.Формовочные смеси и способы их упрочнения.**

*Смеси для формовки по-сырому.* Изготовление отливок в сырых невысушенных формах имеет много преимуществ в сравнении с традиционной технологией заливки по-сухому. При этом сохраняется производственный цикл от изготовления формы до заливки, увеличивается съём литья с единицы площади литейного цеха.

Заливка по-сырому ограничена величиной и массой отливки, тепловое поле которой влияет на состояние и поведение сырой формы.

В зависимости от способа приготовления формовочные смеси для изготовления отливок по-сырому делятся на: природные; синтетические (отдельные составляющие смеси - связующее, наполнитель и добавки взаимно перемешиваются в процессе приготовления).

По способу применения смеси разделяют на: облицовочные; наполнительные; единые.

В зависимости от вида заливаемого металла различают смеси для: стального литья; серого и ковкого чугуна; цветного литья.

*Смеси для формовки по-сухому.* Масса отливки, ее сложность и толщина стенок ограничивают возможность применения заливки по-сырому. При сушке повышается прочность форм. Прочность смеси после сушки зависит от типа и содержания связующего, исходной влажности и температурного режима сушки. Для сухих форм при производстве средних и тяжелых отливок



применяются как естественные пески, так и полусинтетические и синтетические смеси.

Для повышения газопроницаемости сухих форм в смесь вводятся добавки опилок в количестве 2-4 %.

**Смеси с жидким стеклом.** Жидкое стекло представляет собой коллоидный раствор, силикатов щелочных металлов.

В зависимости от способа отверждения жидкого стекла в формовочных смесях их можно разделить на следующие виды: смеси, отверждаемые углекислым газом; смеси, отверждаемые при добавке кислых катализаторов или путем иной дегидратации.

К **первой** группе относится так называемая базовая химически твердеющая смесь по  $\text{CO}_2$ -процессу, которая отверждается при продувке углекислого газа через смесь кварцевого песка и жидкого стекла. Эта смесь чаще всего содержит чистый кварцевый песок и 5-7 % жидкого стекла плотностью 1,48-1,52 г/см<sup>3</sup>. Влажность смеси выбирают, исходя, прежде всего, из условия достижения наибольшей прочности.

Ко **второй** группе смесей относятся: смеси, отверждаемые путем физической дегидратации; смеси, отверждаемые при взаимодействии жидкого стекла и кислых катализаторов.

К смесям, самозатвердевающим при сушке на воздухе или подсушиваемым газом, относится базовая химически твердеющая смесь по  $\text{CO}_2$ -процессу с добавкой примерно 4 % бентонита и стабилизированная примерно 0,5 % NaOH. Эта смесь обладает достаточной прочностью в сыром состоянии и некоторой пластичностью. После извлечения модели форму оставляют для подсушки на воздухе, в результате чего жидкое стекло переходит в высушенный гидратированный силикат натрия.

Недостатками жидкостекольных смесей являются затрудненная выбиваемость и сложность регенерации. Поэтому в последнее время для жидкостекольных смесей получают распространение жидкие отвердители, в качестве которых применяют сложные эфиры уксусной кислоты и глицерина

(моноацетин, диацетин, триацетин) или эфиры уксусной кислоты и этиленгликоля (этилен-гликольдиацетат).

#### **2.4.МОДЕЛЬНО - ЛИТЕЙНАЯ ОСНАСТКА**

Для изготовления отливок в разовых песчано-глинистых формах необходимо иметь комплекты технологической оснастки. Литейная оснастка должна обеспечивать получение отливок требуемой точности и шероховатости поверхности. Литейная оснастка по своей роли в процессе изготовления отливок подразделяется на формообразующую и универсальную.

Формообразующая оснастка представляет собой модельный комплект, в который входят модели, стержневые ящики, элементы литниковой системы, модельные плиты, шаблоны для изготовления форм и стержней. Для изготовления форм обычно применяют два вида шаблонов: шаблоны вращения и протяжные шаблоны. Шаблоны представляют собой плоские заготовки определенного профиля и размера, позволяющие получать сложные объемные формы путем вращения или протяжки.

К универсальной оснастке относятся опоки, подопочные плиты, сушильные плиты (драйеры), корпуса стержневых ящиков для сменных вкладышей, литейный инструмент различного назначения (гладилки, ланцеты, трамбовки, пневмозубила и др.).

*Модель*, являясь видоизмененной копией отливки, отличается от нее размерами и наличием стержневых знаков. По своим размерам модель должна быть больше получаемой отливки на величину усадки металла в форме при его охлаждении и на припуск для последующей механической обработки. В зависимости от очертаний и размеров модель может быть цельной или разъемной, состоящей из двух или нескольких частей. В большинстве случаев модель выполняется из двух половин - верхней и нижней - разделяемых по линии разъема. Конструкция модели должна обеспечивать извлечение ее из формы без разрушения отпечатка. Для этого вертикальным поверхностям отливок или отдельным их частям при конструировании необходимо придавать литейные (конструктивные) уклоны.

*Стержневой ящик* - это формообразующее приспособление с рабочей полостью для получения в ней стержней нужных очертаний и размеров.

Стержневые ящики разделяют по конструктивным признакам на съемные и несъемные, на простые, средней сложности и сложные. К моделям литниковых систем относят модели литниковой чаши или воронки, модели стояка, шлакоуловителя, питателей. Кроме того, при изготовлении форм используют модели выпоров и прибылей. Размеры указанных моделей разнообразны и определяются соответствующими расчетами литниковых систем, прибылей и выпоров.

В индивидуальном и мелкосерийном производстве модели и стержневые ящики изготавливаются обычно деревянными (иногда гипсовыми или цементными). В массовом производстве при машинной формовке вся модельная оснастка (модели, стержневые ящики, модельные плиты) выпускается металлической. Деревянные модели и стержневые ящики изготавливаются из следующих пород дерева: мелкие модели — из ольхи, сосны, липы, бука, клена; средние — из ольхи, сосны, липы; крупные — из ольхи и сосны.

Преимуществом металлических моделей является наличие после обработки гладкой поверхности и меньших формовочных уклонов, что обеспечивает получение более точных отливок.

Следует отметить, что модельный комплект, предназначенный для ручной формовки, не всегда может быть применен для формовки на машинах. Это объясняется тем, что на моделях, предназначенных для машинной формовки, имеются обычно приливы для закрепления моделей на модельной плите.

По прочности модельные комплекты подразделяются на три класса. От прочности зависит количество съёмов литейных форм с моделей.

По первому классу прочности изготавливают модели и стержневые ящики, предназначенные для серийного и мелкосерийного производства отливок при непрерывной эксплуатации модельных комплектов. Данные модельные комплекты пригодны для ручной и машинной формовки с установкой моде-

лей на деревянные или металлические модельные плиты. Для особо сложных отливок при единичном производстве допускается использовать модельные комплекты первого класса прочности.

По второму классу прочности делают модели и стержневые ящики для серийного и мелкосерийного производства отливок при периодической эксплуатации модельных комплектов, а также при единичном производстве отливок 4-5-й групп сложности.

По третьему классу прочности изготавливают модельные комплекты для единичного производства отливок 1-3-й групп сложности. Эти модели не подлежат длительному хранению.

**Модельная плита** (рис. 4) представляет собой металлическую плиту, на которой укрепляется одна или несколько моделей с литниковой системой и выпорами, а также размещаются штифты для установки опок. Крепление моделей производится при помощи винтов.

Пользование модельной плитой способствует уменьшению затрат времени на установку моделей и прорезку каналов литниковой системы, благодаря чему повышается производительность труда формовщика.

Модельные плиты бывают односторонними и двусторонними. При односторонней модельной плите одна половина модели располагается на одной плите, а другая - на второй; при формовке необходимо пользоваться обеими плитами.

При двусторонних модельных плитах на одной стороне плиты прикрепляется одна половина модели, а на другой стороне - другая. Поэтому формовка нижней и верхней опоки обеспечивается одной такой плитой.

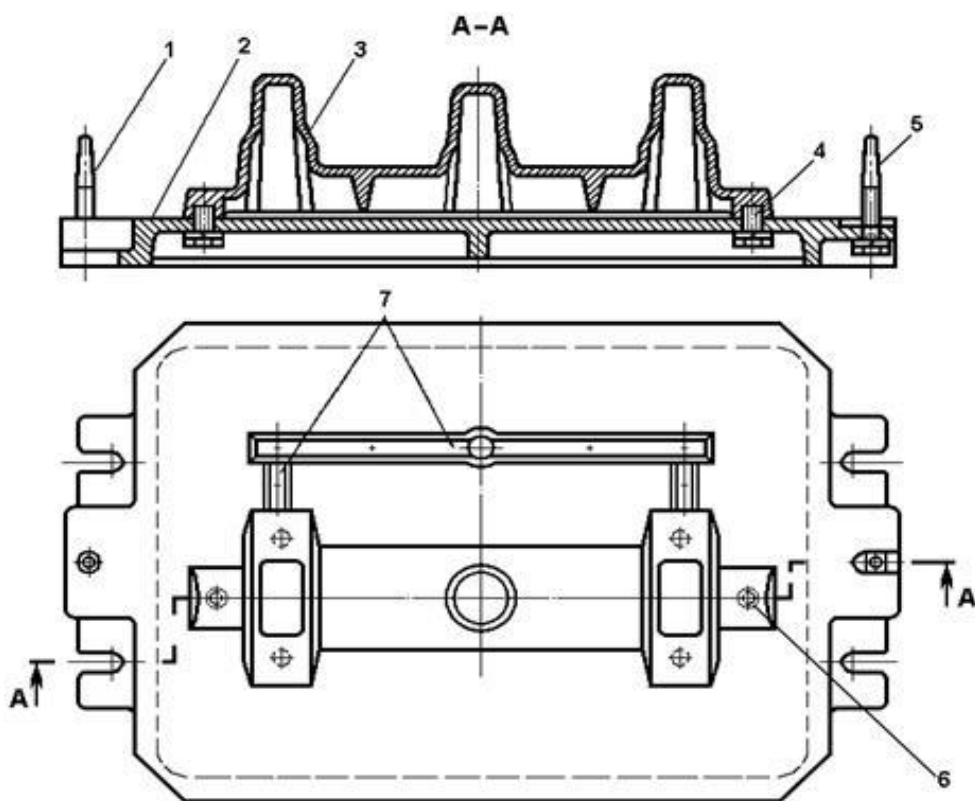


Рис. 4. Модельная плита: 1 -штырь центрирующий; 2 -модельная плита; 3 -верхняя половина модели; 4 -крепежный болт; 5 -штырь направляющий; 6 –контрольный штифт; 7-модели литниковых системы

**Подмодельные щитки** - это металлические или деревянные плиты, служащие для установки на них моделей и опок при ручной формовке.

Основные типы **стержневых ящиков** представлены на рис. 5. Для производства простых стержней и с большими уклонами боковых стенок могут применяться цельные стержневые ящики (рис. 5, а,б). Наиболее распространенными являются разъемные стержневые ящики (рис. 5, в), позволяющие получать стержни самой разнообразной конфигурации. Этой же цели служат вытряхные стержневые ящики (рис. 5,г), состоящие из корпуса со вставленными в него вкладышами.

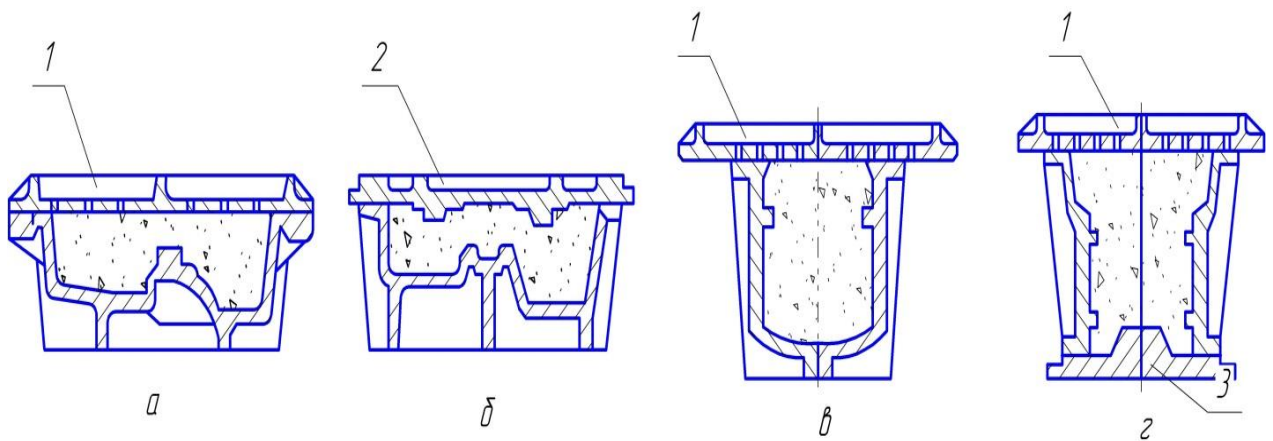


Рис. 5. Стержневые ящики: *а, б* - цельные; *в* - с вертикальным разъемом; *г* - с горизонтальным разъемом; *1* - сушильная плита; *2* - фасонный вкладыш; *3* - вкладыш

Материалом для изготовления большинства стержневых ящиков являются алюминиевые сплавы. Для изготовления стержней с одной плоской стороной обычно применяют неразъемные вытряхные ящики. Верхние и нижние плоскости стержневых ящиков для пескодувных и пескострельных машин армируют стальными пластинами и шлифуют для наилучшего уплотнения между надувной плитой и столом машины.

Стержневые ящики в условиях единичного и мелкосерийного производства могут изготавливаться деревянными.

При конструировании моделей и стержневых ящиков кроме обеспечения легкой набивки формовочных или стержневых смесей и удаления моделей из форм, а стержней из стержневых ящиков необходимо также обеспечить простоту изготовления (технологичность) и экономичность.

При изготовлении модельной оснастки пересчет размеров отливки модельщик обычно не производит, а учитывает усадку, применяя при откладывании чертежных размеров на заготовке модели так называемый «усадочный метр». Каждое деление такого метра больше деления обычного метра на величину усадки.

Части модели, мешающие извлечению ее из формы, делаются отъемными. Боковые отъемные части могут крепиться к модели при помощи клиновых шипов, шпильками и другими способами.

На рис. 6, *а* показана фиксация отъемной части модели при помощи посадки в гнездо типа «ласточкин хвост». Вкладыш 1 крепится к ползуну 4 винтами 2. Точная установка вкладыша обеспечивается штифтами 3.

К универсальной оснастке модельного комплекта относятся сушильные плиты (драйеры) для установки на них стержней после изготовления, инструмент для зачистки и контроля форм и стержней и др.

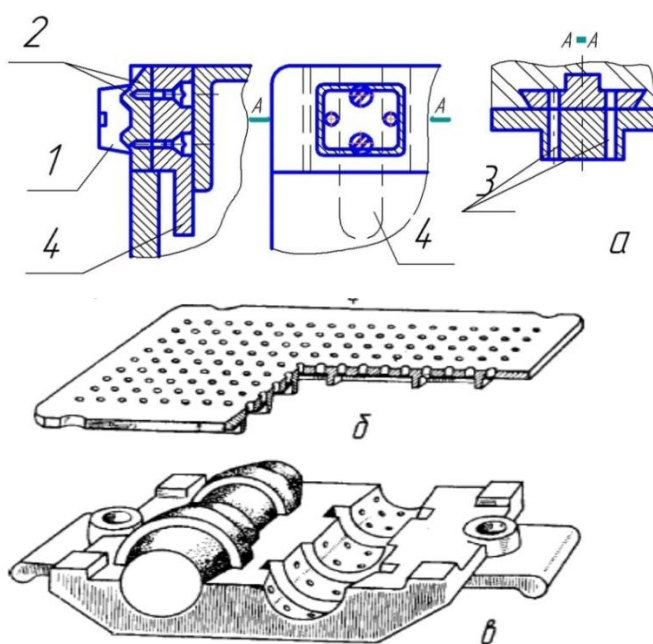


Рис. 6. Фиксация отъемных частей модели и сушильные плиты

Стержни, имеющие ровную поверхность, сушатся на плоских плитах (рис. 6, *б*), а для сушки стержней, имеющих сложные очертания поверхности, применяются фасонные плиты - драйеры (рис. 6, *в*).

К опочной оснастке относят, опоки, штыри, крепежные приспособления, литейные жакеты, подопочные плиты.

**Классификация опоки.** *Опока* - приспособление для удержания формочной смеси при изготовлении литейной формы, транспортировании ее и при заливке жидким металлом. Опоки классифицируют по геометрии, назначению. Различают опоки для ручной и машинной формовки, для формовки методом прессования под высоким удельным давлением, специальные опоки для безопочной формовки.

Материалом для опоки служат чугун, сталь или алюминиевые сплавы.

Точность центровки опоки при их сборке обеспечивается обычно специальными втулками, закрепленными в отверстиях центрирующих ушков или самими точно обработанными отверстиями в ушках (рис. 7).

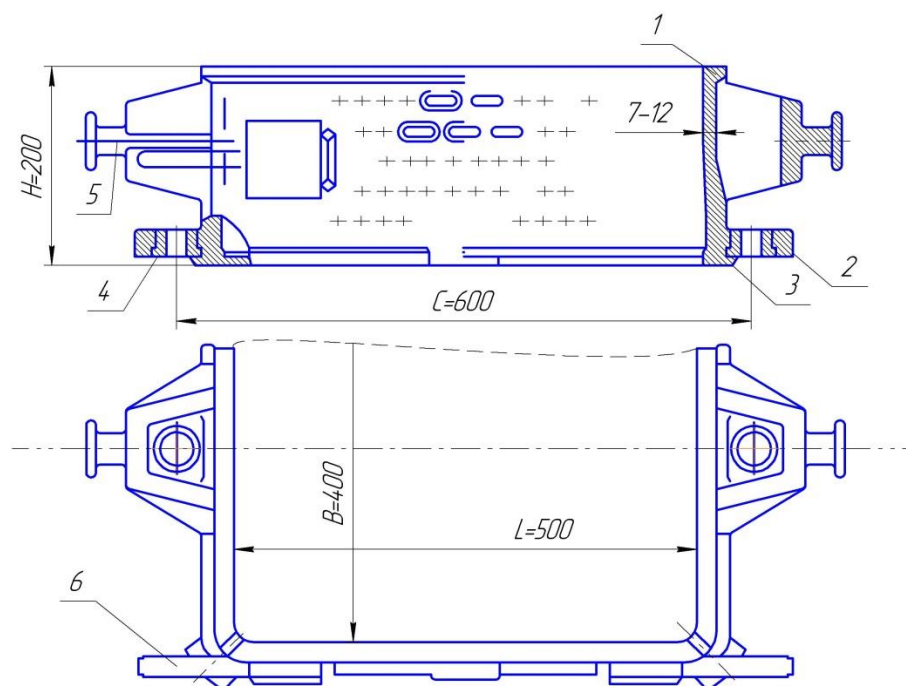


Рис. 7. Цельнолитая стальная опока

Наиболее широко применяются литые опоки из стали или чугуна.

Мелкие и средние формы изготавливаются в сварных опоках из проката специального профиля. Сварные опоки имеют достаточную жесткость при меньшем весе, чем литые. На рис. 7 показана цельнолитая стальная опока с размером в свету 500x400 мм. Боковая стенка опоки имеет в верхней части выступ 1 для увеличения прочности, а в нижней части - буртик 2 для удержа-



ния формовочной смеси. Для соединения с другой опокой (при помощи штырей) имеются приливы для направляющей 2 и центрирующей 4 втулок.

Для подъема при помощи крана служат цапфы 5, а для ручного подъема съемные ручки 6.

**Элементы центрирования.** Спариваемые опоки всегда должны центрироваться в двух диаметрально-противоположных точках.

Центрирующие отверстия располагаются на торцевых стенках, диаметры центрирующих отверстий и размеры центрирующих и направляющих втулок с учетом габаритов опок.

Центрирование при спаривании опок производят с помощью сборочных штырей через центрирующие и направляющие втулки (рис. 8).

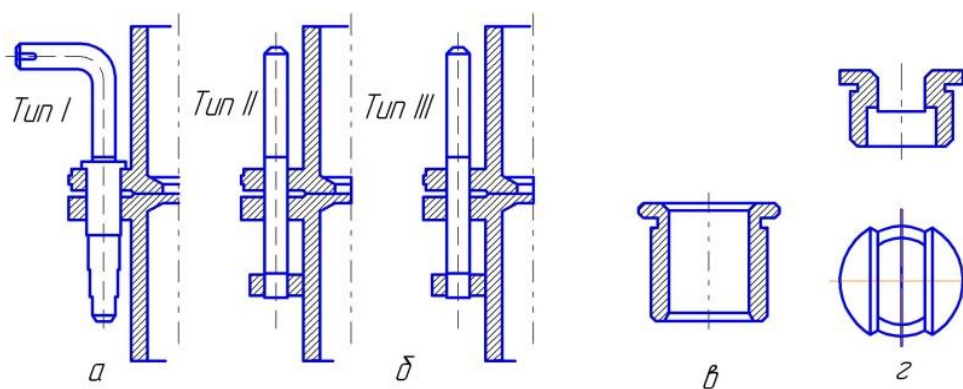


Рис. 8. Способы спаривания (а, б) и элементы центрирования (в, г):  
а - штырем; б - на штырь; в - центрирующая; г - направляющие втулки

## 2.5. Материалы для изготовления модельного комплекта.

### Конструирование моделей

Все модели по типу применяемого материала можно разделить на три группы: деревянные, металлические и неметаллические.

В производстве моделей наиболее широко используемыми породами дерева являются сосна, ель, пихта, липа, бук, клен, береза. Древесину заготавливают зимой, и она проходит естественную или искусственную сушку; затем из нее готовят пиломатериалы - доски, брусья, бруски, которые и исполь-

зуют для изготовления моделей. Каждая из пород дерева характеризуется определенными физико-механическими свойствами: имеет предел прочности на растяжение, сжатие, изгиб, твердость и вязкость (способность древесины получать относительно большую остаточную деформацию при изгибе, не проявляя при этом признаков разрушения). Эти характеристики являются основополагающими при выборе той или иной породы дерева для изготовления моделей.

Металлические модели применяют в серийном производстве для отливок с высоким классом точности, низкой шероховатостью поверхности, при большом количестве съёмов форм с одной модели. В качестве сплавов для моделей используют чугун, сталь, алюминиевые сплавы, реже - бронзы или латуни. Сплавы должны не только обладать высокими механическими свойствами, твердостью, но и хорошо обрабатываться, а после соответствующей механической обработки давать гладкую рабочую поверхность моделей.

Неметаллические модели предназначаются, как правило, для специальных целей. Например, восковые (парафиностеариновые и др.) - для литья по выплавляемым моделям, гипсовые - для художественного литья, цементные - для формовки с фальшивой опоккой, пенополистироловые - для формовки по выжигаемым или газифицируемым моделям и т.д. Получают распространение и пластмассовые модели. Они прочнее деревянных, легче некоторых сплавов (чугун, сталь, бронза), хорошо шлифуются, дешевле металлических моделей и т.д.

***Конструирование деревянных и металлических моделей.*** Независимо от конструктивных признаков процесс изготовления моделей начинают с деревянных заготовок, используемых в качестве полуфабриката для выточки моделей заданной геометрической формы. Заготовки получают путем склеивания отдельных частей пиломатериалов, подготовленных из древесины.

Пиломатериалы, имеющие влажность 8-12 % и выдержанные после сушки, разрезают на мерные части. Широкие доски распиливают на узкие,

шириной 110-150 мм, а затем склеивают в щиты, чтобы предупредить коробление. Рамные, кольцевые, дисковые заготовки, а также заготовки для круглых болванок делают не менее чем из трех слоев (рис. 9).

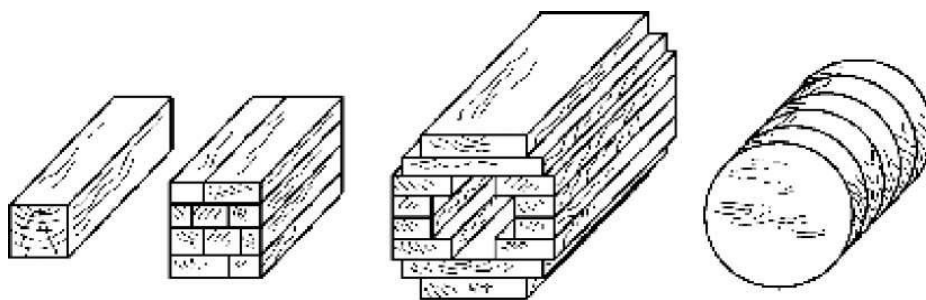


Рис. 9. Заготовки для круглых болванок: *a* - цельная; *б* - сплошная клееная; *в* - клееная полая; *г* - клееная из дисков

При склеивании учитывается расположение годовых колец древесины для предупреждения коробления.

Как было отмечено выше, металлические модели получают из литой заготовки, для изготовления которой применяют промодель. К деревянной промодели не предъявляется высоких требований по прочности, твердости, так как она используется один или несколько раз при формовке, но основные технологические указания по изготовлению деревянных моделей относятся и к промоделям. Размеры промодели учитывают двойную усадку сплавов модели и отливки и двойной припуск на механическую обработку.

Заготовка на модель должна быть плотной, без усадочных, газовых, песчаных дефектов, не иметь перекосов, коробления и трещин. Металлические модельные комплекты должны иметь соответствующий класс точности и шероховатости рабочей поверхности. Конструкция металлических моделей и стержневых ящиков должна обеспечить жесткость и прочность при минимальной массе. Модели допускается изготавливать сплошными только при мелких и средних габаритных размерах. Крепление отъемных частей моделей и крепление моделей к модельным плитам осуществляется с помощью шурупов, болтов и т.д.; при этом на рабочих поверхностях не должно быть следов крепежных изделий. Головка шурупа или болта утапливается внутрь рабочей

поверхности на некоторую глубину и сверху тщательно заделывается замазкой с соответствующей обработкой поверхности до гладкой.

**Конструирование стержневых ящиков.** Стержневые ящики по конструкции подразделяют на два типа: неразъемные вытряхные и разъемные. Выбор типа стержневого ящика определяется его габаритными размерами и конфигурацией.

Вытряхные стержневые ящики широко применяют в серийном производстве отливок. Такой ящик состоит из коробки, доньшка и вкладышей, которые после набивки полости ящика стержневой смесью извлекают вместе со стержнем. Заготовкой для таких стержневых ящиков является обычно коробка с дном, сделанная из досок или щитов. Коробку стержневого ящика изготавливают на шипах из досок толщиной 40-50 мм. Она расширяется от доньшка вверх, чтобы удобнее было вытряхивать внутренние части ящика; уклон боковых стенок делается 1:10. Для облегчения удаления вкладышей к их наружным плоскостям клеем или шурупами крепят клинья, которые при переворачивании ящика скользят по стенке коробки. Уклоны стенок корпуса при высоте вкладыша до 150 мм принимается  $6^\circ$ , от 151 до 250 мм -  $5^\circ$ , выше 250 мм -  $3^\circ$ . На рис. 10 показана конструкция алюминиевого стержневого ящика для изготовления песчаных стержней машинным, ручным и пескодувным способом.

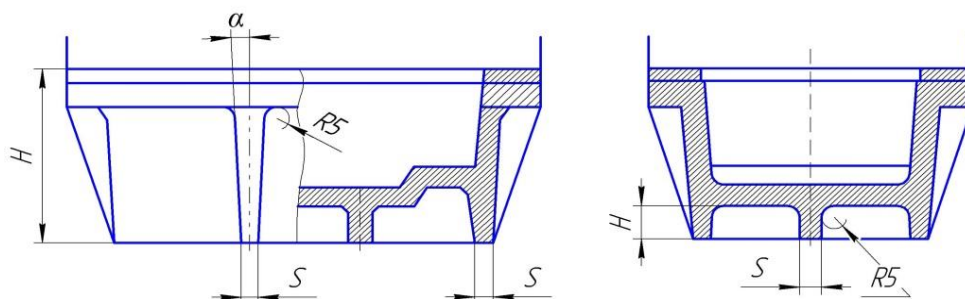


Рис. 10. Конструкция алюминиевого стержневого ящика

Нагреваемые стержневые ящики изготавливают из стали и чугуна. Отличительной особенностью нагреваемых стержневых ящиков является наличие системы механизированных толкателей, которые монтируют индивидуально

или на специальной плите. Толкатели устанавливают против знаков и других нерабочих частей стержня. Для простых стержневых ящиков расстояние между толкателями 100-130 мм, а для более сложных 50-70 мм. Зазор между толкателем и отверстием для него в стержневом ящике равен 0,15-0,25 мм.

Перед установкой на токарный станок спаренных заготовок острые углы древесины срубают или сострагивают. Подготовленная и закрепленная в центрах токарного станка заготовка для корпуса вентиля показана на рис. 11,а.

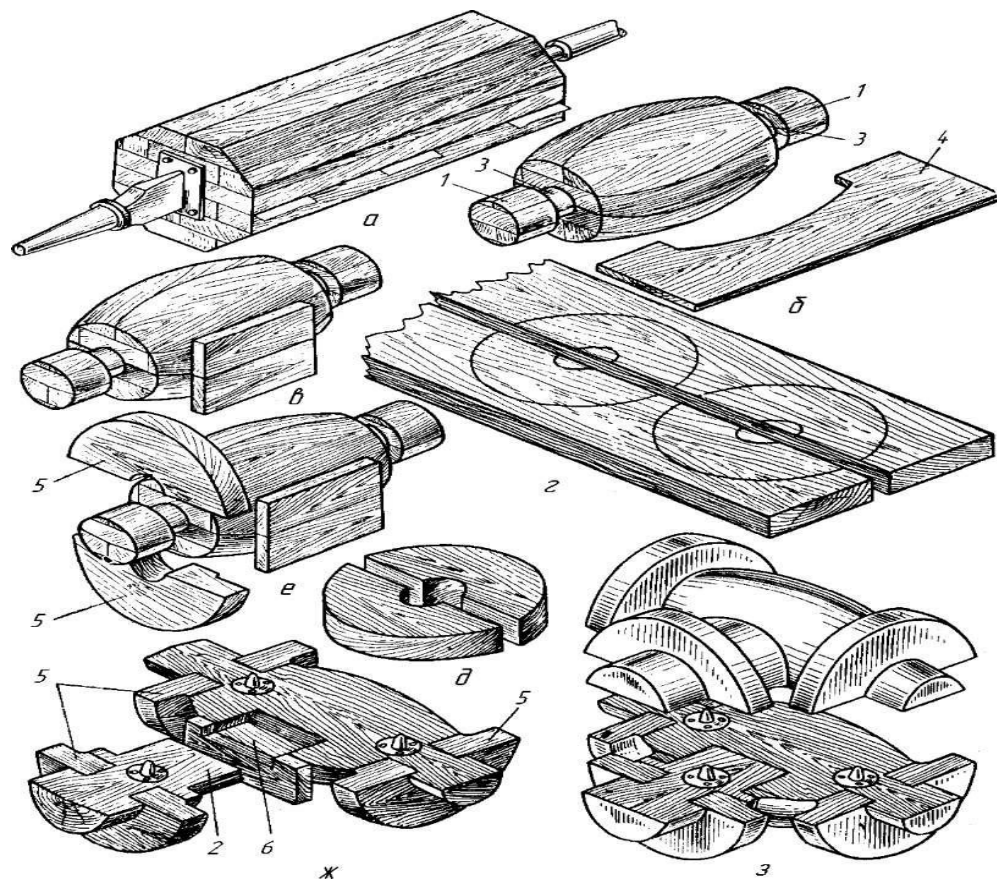


Рис. 11. Процесс изготовления модели «Корпуса вентиля»

При обработке на токарном станке сначала вытачивают знаки 1 (рис. 11, б). Затем обрабатывают наружную поверхность модели в соответствии с формой и размерами, указанными в модельном чертеже. Правильность овальной формы обтачиваемой поверхности проверяют прикладыванием шаблона 4 (рис. 11, в).

После окончательной обработки шаблон должен полностью прилегать к обработанной поверхности, а его горизонтальные участки при этом должны касаться цилиндрических поверхностей знаков. Затем вытачивают углубления 3 (рис. 11,б) для последующей установки фланцев.

Снятая с центров обточенная заготовка освобождается от металлических планок. Посредством легкого удара молотком по ручке плоской стамески, лезвие которой установлено на границе разъема на торце одного из концов заготовки, заготовка легко разъединяется на две части по плоскости разъема. Оставшиеся концы около стержневых знаков удаляют пилой, а бумагу с клеем на поверхности обеих частей заготовки сострагивают маленьким рубанком, рабочую поверхность которого смазывают машинным маслом. После этого на обеих частях заготовки на соответствующем расстоянии от оси вращения выстрагивают плоские поверхности под прямым углом к плоскости разъема. К этим поверхностям приклеивают две предварительно выстроганные дощечки для изготовления галтели по линии пересечения поверхностей двух тел (рис. 11,б). Толщина дощечек определяется по модельному чертежу. Фланцы 5 (рис. 11, г, д, е) для модели вытачивают на токарном станке (на планшайбе) из заготовок, выпиленных из досок соответствующей толщины (см. рис. 11,г, д,е).

Цилиндрическую часть модели патрубка изготавливают аналогично основной части модели. При этом цилиндрическую часть патрубка вытачивают такой длины, чтобы из нее можно было затем изготовить вручную шип 2 (рис. 11, ж) для крепления патрубка к основной части модели, в которой предварительно изготавливают углубление б (рис. 11,ж).

После соединения патрубка с основной частью модели с помощью шипа 5, клея и шурупов, из приклеенных ранее дощечек (рис. 11, в) изготавливают галтель путем ручной обработки этих дощечек полукруглой стамеской. Затем приклеивают фланцы и окончательно отделяют модель (рис. 11,з).

Технология изготовления стержневого ящика к модели «Корпус вентиля» изображена на рис. 12.

Стержневой ящик состоит из двух симметричных половинок. Однако следует отметить некоторые особенности в изготовлении этого стержневого ящика. После разметки обеих половинок ящика, как указано на рис. 12, *а*, делают полости в них. Сначала вырезают полукруглой стамеской или выстрагивают в каждой половине ящика специальным рубанком-галтельником сквозное полуцилиндрическое отверстие диаметром 40 мм.

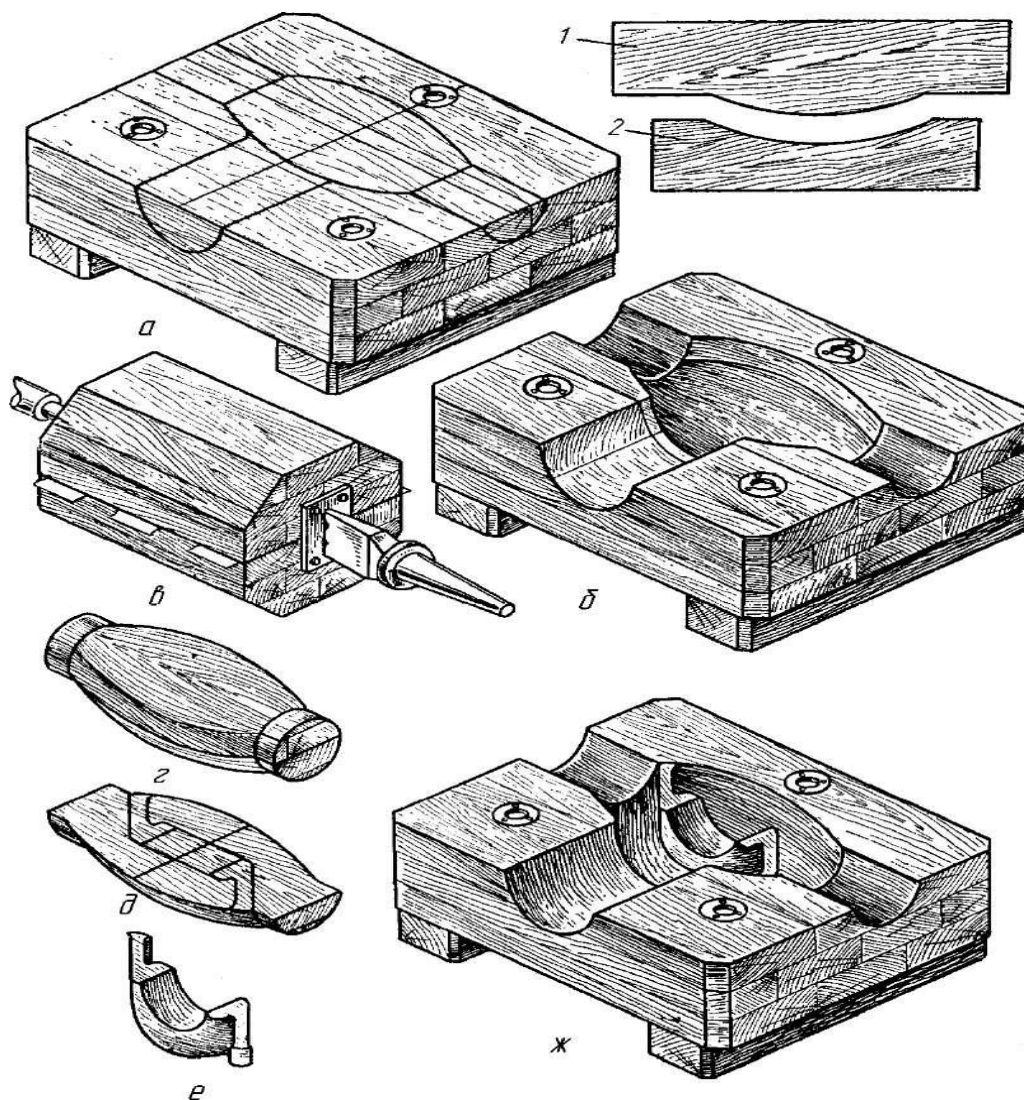


Рис. 12. Процесс изготовления стержневого ящика для модели «Корпуса вентиля»

Затем вырезают полость овальной формы. Для обеспечения правильной формы полости применяют шаблон *1* (рис. 12), выступающая овальная часть которого натирается цветным карандашом. Далее вырезают цилиндрическое

отверстие диаметром 54 мм, расположенное перпендикулярно долевой оси ящика. После этого полость ящика приобретает вид, указанный на рис. 12,б.

Перегородки для части ящика овальной формы изготавливают из заготовки, склеенной через бумагу из двух брусков. Заготовку устанавливают для обработки на токарном станке, как показано на рис. 12, в; из заготовки вытачивают вставку в соответствии с размерами и формой овальной полости ящика. Правильность кривизны поверхности вытачиваемой вставки проверяют шаблоном 2 (рис. 12). После обработки вставка приобретает вид, указанный на рис. 12,г. Вставку разъединяют по плоскости разъема на две части и каждую из них вставляют в полость половинок стержневого ящика и производят разметку перегородки на плоской поверхности каждой части вставки. После разметки вставки вынимают из полостей ящика (рис. 12,д) и подвергают ручной обработке стамесками. Для облегчения работы при извлечении стержня из ящика на перегородке делают формовочные уклоны, которые измеряют при изготовлении малкой.

Обработанную по размерам перегородку (рис. 12,е) устанавливают в полость ящика и приклеивают. Затем между вставкой и основной полостью ящика выполняют галтели из замазки, ящик зачищают и окрашивают. На рис. 12, ж показана одна из половин готового ящика.

***Изготовление модельной оснастки из пластмасс.*** Модельные комплекты из пластмасс обладают лучшими свойствами, чем деревянные и металлические комплекты. Пластмассовые модели имеют высокую механическую прочность и точность, не подвергаются короблению, разбуханию, усушке, коррозии. При изготовлении модельной оснастки широко применяют пластмассы на основе эпоксидных смол. Формовочные уклоны, точность и шероховатость поверхности пластмассовых модельных комплектов должны соответствовать требованиям к модельным комплектам, изготовленным из алюминиевых сплавов.

Процесс изготовления модельных комплектов из пластмасс на основе эпоксидных смол состоит из следующих основных операций: изготовление



мастер-модели, изготовление форм, изготовление пластмассовой модели, стержневого ящика, монтаж модели на модельную плиту. Мастер-модель можно изготовить из древесины, гипса или алебаstra.

Существует два способа изготовления модельных комплектов из пластмасс: литьевой и контактный. Литьевой способ применяют при изготовлении модельных комплектов небольших габаритных размеров. Контактный способ применяют в тех случаях, когда модель (стержневой ящик) должна иметь высокие прочностные свойства, или когда ее конструкция имеет сложные геометрические формы и выступающие тонкие части.

Изготовление модельных комплектов литьевым способом проще. Оно заключается в заливке в гипсовую форму эпоксидной композиции. Остальные операции такие же, как и при контактном способе.

После изготовления модельного комплекта из любого материала производится его окончательная отделка. Деревянные модели обрабатывают мелкой абразивной шкуркой или шлифуют пемзой. После отделки поверхности моделей грунтуют, шпаклюют и покрывают модельным лаком. После каждой операции поверхность шлифуют шкуркой. Окраска моделей и стержневых ящиков модельным лаком должна систематически повторяться в процессе использования их в производстве. После окончательной отделки и проверки модельные комплекты маркируют, набивая на них цифры и буквы. Все съемные части также маркируются.

## **2.6. Технология изготовления отливок в разовых песчаных формах**

Под модельно-опочной оснасткой понимают набор элементов, необходимых для образования при формовке рабочей полости литейной формы.

*Литейная модель* служит для образования в литейной форме отпечатка, соответствующего конфигурации и размерам отливки. По конструкции, которая обуславливается удобством формовки, модели подразделяют на неразъемные и разъемные (рис. 13).



*a б*

Рис. 13. Типы моделей: *a* - неразъемные; *б*– разъемные

Неразъемные модели (рис. 13, *a*) применяют при получении несложных по конфигурации отливок, преимущественно заформовываемых в одной половине формы. Разъемные модели (рис. 13, *б*) широко используют при производстве отливок более сложной и разнообразной конфигурации, когда модель формируется в двух опоках и более. В единичном и мелкосерийном производстве, когда оформлять выступающие элементы отливок стержнями экономически нецелесообразно, в моделях предусматривают отъемные части, которые остаются на рабочей поверхности формы после извлечения из нее модели, затем извлекают и отъемные части. Крепление отъемных частей на основании модели производят стальными гвоздями или шипами со скосами.

Точное соединение частей разъемных моделей осуществляется с помощью деревянных шипов или металлических дюбелей. Для легкого извлечения из полуформы боковые поверхности моделей снабжают уклонами. Удобство извлечения модели из полуформы при ручной формовке достигается с помощью металлических приспособлений, закрепляемых на модели, которые называют подъемами.

**Подмодельные плиты** служат для образования в форме плоскостей разъема. При ручной формовке применяют деревянные подмодельные плиты, склеиваемые из строганных досок, а при машинной - металлические фасонные, обычно отливаемые из серого чугуна, служащие основой для монтажа модельных плит.

**Модельные плиты** применяют при машинной формовке. Модельные плиты представляют собой тщательно обработанные металлические фасонные плиты с моделями отливок и элементов литниковых систем, а также двумя штырями, предназначенными для фиксации устанавливаемых опоки.

**К опочной оснастке** относят опоки, штыри, крепежные приспособления, литейные жакеты и подопочные плиты.

Опоки (рис. 14) представляют собой жесткие металлические рамки, служащие для набивки и удержания смеси при изготовлении литейных форм, удобства их транспортирования на участки заливки и выбивки. Опока придает форме повышенную прочность, необходимую для противодействия давлению заливаемого в нее литейного расплава.

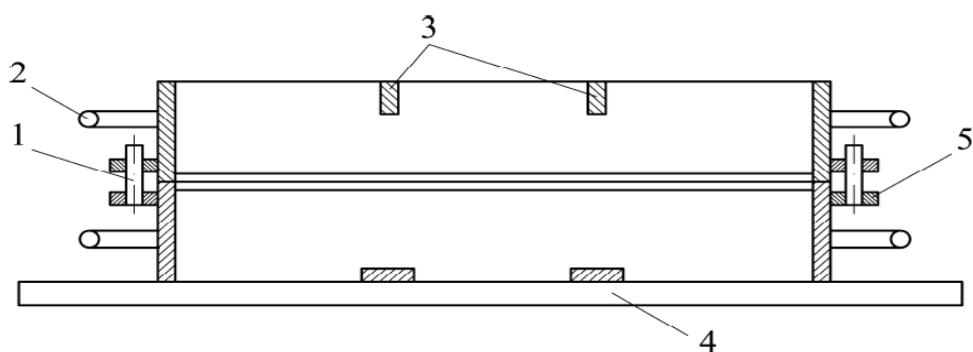


Рис. 14. Опоки: 1 - штыри; 2 - ручки; 3 - ребра; 4 - подопочная плита; 5 – ушки

Крепежные приспособления предназначены для надежного соединения полуформ при подготовке формы к заливке, что предупреждает вытекание заливаемого расплава по плоскости ее разъема.

## 2.7. Ручная формовка в опоках. Почвенная формовка

**Формовкой в почве** называют процесс изготовления форм на земляном плацу формовочного отделения. Открытая почвенная формовка применяется для неотчетливых отливок с плоской верхней стороной (рис. 15, а). Работа начинается с приготовления постели. Для этого на формовочном плацу роют

яму, диаметр которой немного больше размера проекции модели, а глубина больше высоты модели (примерно на длину лопаты).

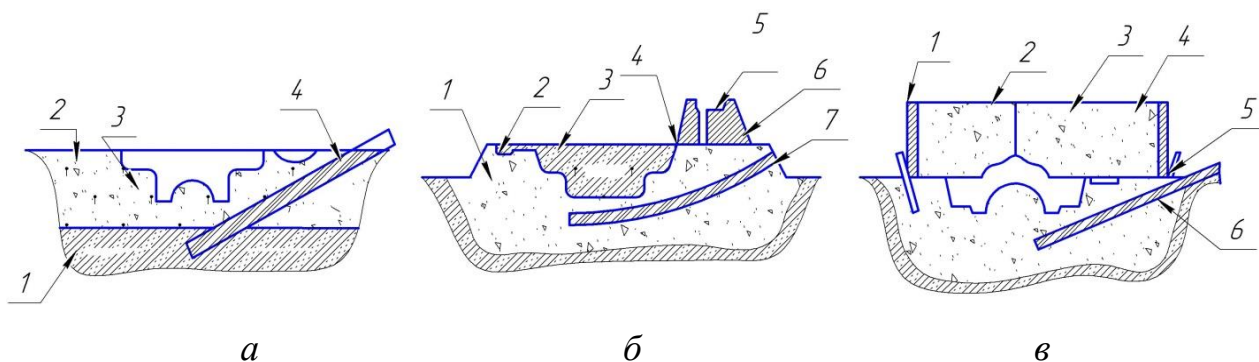


Рис. 15. Почвенная формовка

В приготовленную яму укладывается ровным слоем кокс *1* (твердая постель), а на него - оставшаяся от вскапывания ямы земля *2*, обычно представляющая собой старый формовочный материал. Коксовая постель подготавливается для лучшего удаления из формы газов, выделяющихся при отливке. Для этой же цели и лучшего охлаждения отливки в постель можно укладывать трубы *4* и накалывать каналы *3*.

На подготовленную постель *1* (рис. 15, *б*) кладут модель *3* лицевой стороной книзу и несколькими ударами деревянного молотка осторожно осаживают ее. Горизонтальность верхней плоскости осаживаемой модели проверяют уровнем. По бокам до верхней кромки модель обкладывают формовочной смесью и утрамбовывают. Смесью зачищают в уровень с моделью, а поверхность заглаживают, затем вырезают литниковое углубление под чашу и от него прорезают канал для прохода металла в форму *4*. На противоположной стороне модели прорезывается такой же канал с прямым *2* для слива из формы лишнего металла. Для повышения газопроницаемости уплотненной смеси изогнутым душником накалывают каналы *7*. После выемки модели и отделки форму припыливают и заливают металлом через литниковую чашу *5*, выполняемую в небольшой приставной опоке *б* или стержне. При этом поверхность залитого металла сразу же

посыпают слоем мелкого древесно- угольного порошка и поверх него сухой землей.

Для получения крупных и тяжелых отливок применяется закрытая почвенная формовка, при которой верхняя часть отливки получается в опоке, а нижняя - в твердой постели (рис. 15, в). При этом способе после окончательного осаживания модели плоскости разъема формы приглаживают и присыпают сухим разделительным песком. Затем модель накрывают опокой 1, устанавливают модели стояка и выпора и набивают формовочной смесью верхнюю часть формы 2.

После набивки опоки и накалывания в ней вентиляционных каналов 3 прорезают литниковую чашу 4 и вытаскивают модели стояков и выпоров. Затем верхнюю опоку снимают, удаляют модель, отделяют форму, углы и выступающие места укрепляют шпильками (прошпиливают), посыпают угольным порошком и нижнюю часть формы накрывают верхней опокой. Во избежание перекосов верхнюю опоку устанавливают по направляющим колышкам 5, которые вбивают в постель еще до начала формовки верхней опоки. Собранный форма нагружается, и затем полость формы 7 заливается жидким металлом. Вывод газов осуществляется по трубам 6.

**Формовка по шаблону.** При изготовлении индивидуальных отливок иногда технически целесообразно и экономически выгодно применять шаблоны (рис. 16).

Шаблон представляет собой доску, имеющую металлическую окантовку по профилю, соответствующему получаемой форме.

После установления стального шпинделя (оси) 1 с надетым на него шаблоном I насыпают вокруг опоры постель 4 и для выхода газов прокладывают наружу газоотводную трубу 3. Затем сверху кладут формовочную смесь 2 соответственно форме шаблона и утрамбовывают ее. Поворачивая шаблон и снимая излишек смеси, получают поверхность земляной модели, соответствующую наружной поверхности отливки (рис. 16,а).

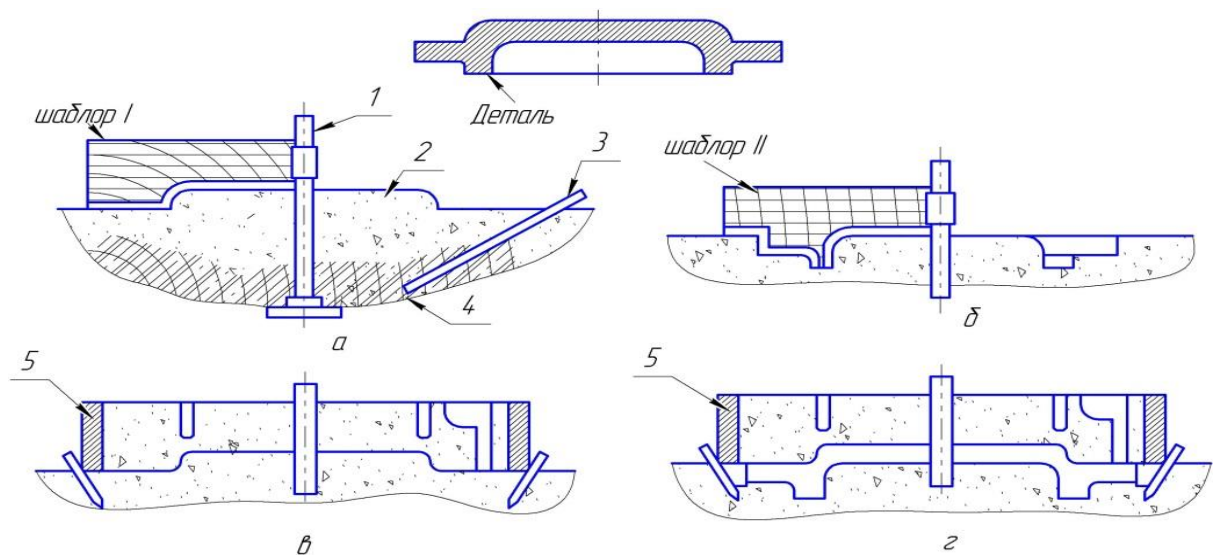


Рис.16.Формовка по шаблону вращения

Эту поверхность посыпают разделительным песком или покрывают тонкой бумагой, сверху накладывают опоку 5, устанавливают модель литника и заформовывают опоку (рис.16, б). После набивки и снятия опоки на шпиндель надевают шаблон II для получения выемки, соответствующей внутренней поверхности отливки (рис. 16, в).

После изготовления нижней части формы шпиндель убирается, а отверстие заделывается землей. Опокой 5 перекрывают нижнюю часть формы и производят заливку (рис. 16, г).

В зависимости от конфигурации и размера отливок, а также от количества, изготавливаемых отливок ручная формовка может выполняться несколькими способами.

**Формовка по скелетной модели.** Формовка по скелетной модели - формовка для крупногабаритных отливок, представляющая собой комбинацию формовки по модели и формовки по протяжному шаблону (рис. 17).

Скелетную модель, толщина стенок которой равна толщине стенок будущей отливки, заформовывают в почве. Отделяют внутреннюю поверхность формы и застилают бумагой. По полученному своеобразному стержневому ящику изготавливают стержень, верхняя часть которого зачищают шаблоном.

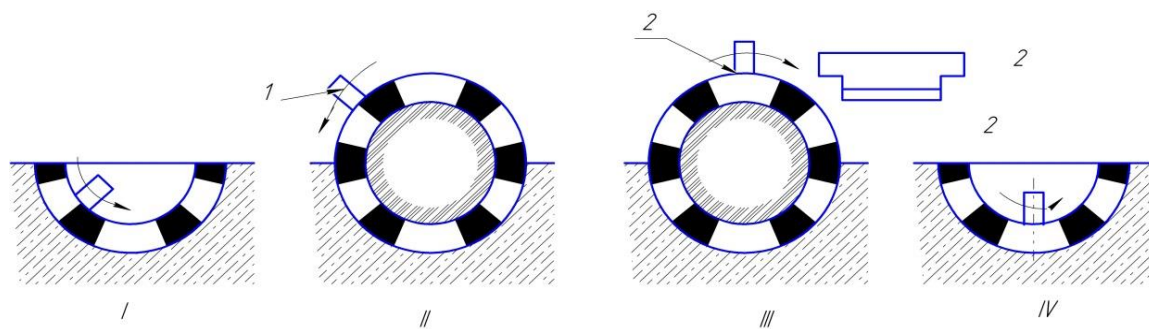


Рис. 17. Схема формовки по скелетным моделям: *I* - отделка внутренней поверхности формы; *II* - формовка стержня; *III* - отделка стержня; *IV* - отделка внешней поверхности формы; 1, 2 – шаблоны

Затем снимают верхнюю часть модели, вынимают стержень и тем же шаблоном удаляют смесь между брусками в нижней модели. Извлекают нижнюю часть модели, форму отделяют и выполняют литниковую систему.

**Формовка в двух опоках** производится как по цельной, так и по разъемной модели и очень широко распространена в литейных цехах машиностроительных заводов. Если модели мелкие, их можно формовать в одной опоке сразу по несколько штук. При этом расстояние между отдельными моделями берется 20-25 мм и от края опок 20-30 мм. Отливку обычно размещают в нижней опоке, а каналы литниковой системы и выпоры в верхней.

**Формовка по цельной модели в двух опоках.** Формовка (рис. 18) выполняется следующим образом. Модель очищают от формовочной смеси, припыливают и кладут гладкой поверхностью на подмодельную доску (рис. 18,а). Затем на нее ставят нижнюю опоку, через сито насеивают слой облицовочной смеси, после чего в несколько приемов слоями толщиной до 50-70 мм засыпают наполнительную смесь и утрамбовывают ее.

Излишек смеси сверху опоки срезают линейкой и делают душником наколы *I*, не доходящие до модели на 10-15 мм (рис.18,б). Набитую нижнюю опоку поворачивают на 180°, плоскость разъема опок заглаживают гладилкой, посыпают разделительным песком и модель накрывают верхней опокой.

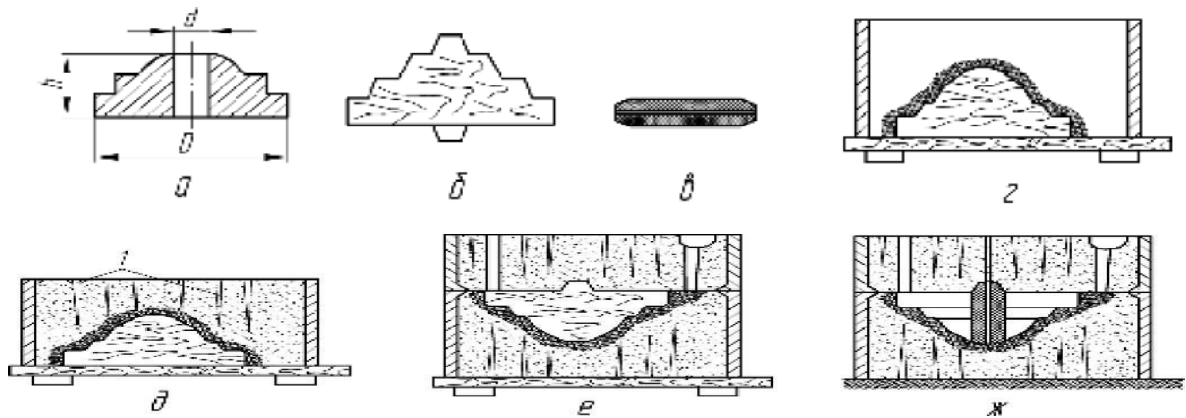


Рис. 18. Формовка в двух опоках по цельной модели: *а* - отливка; *б* - модель; *в* - стержень; *г*, *д*, *е*, *ж* - операции формовки

После этого в верхней опоке размещают модели стояка и выпоров с таким расчетом, чтобы они были достаточно удалены от стенок и крестовин опоки (рис. 18, *е*). После уплотнения смеси в верхней опоке и извлечения из формы модели стояка и выпоров опоку поднимают и кладут на ребро или поворачивают на 180°. Если не применяют модели питателей и шлакоуловителей, литниковые каналы прорезают вручную до момента извлечения модели из формы. После удаления модели форму исправляют, обдувают и припыливают; при необходимости ставят стержни. Затем верхнюю опоку по штырям осторожно устанавливают на нижнюю (рис. 18, *ж*).

Точное центрирование при спаривании опок производится с помощью контрольных штырей, вставляемых в отверстия центрирующих ушков. Различают два способа спаривания опок - «штырем» или «на штырь». В первом случае штыри вставляются в ушки верхней опоки и при сборке формы проходят в отверстия втулок нижней опоки. При сборке «на штырь» контрольные штыри удерживаются в ушках нижней опоки, а верхняя опока «садится» на штыри своими центрирующими отверстиями. В условиях серийного и массового производства этот способ наиболее распространен. Во избежание прорыва металла через плоскость разъема во время заливки опоки скрепляются металлическими скобами. Центрирующие штыри после



спаривания опок вынимают и используют для центровки следующей пары опок.

**Формовка в двух опоках по разъемной модели.** При формовке в двух опоках по разъемной модели (рис. 19) на модельную плиту устанавливают нижнюю часть модели лицевой стороной кверху и на эту же доску ставят нижнюю опоку ушками книзу.

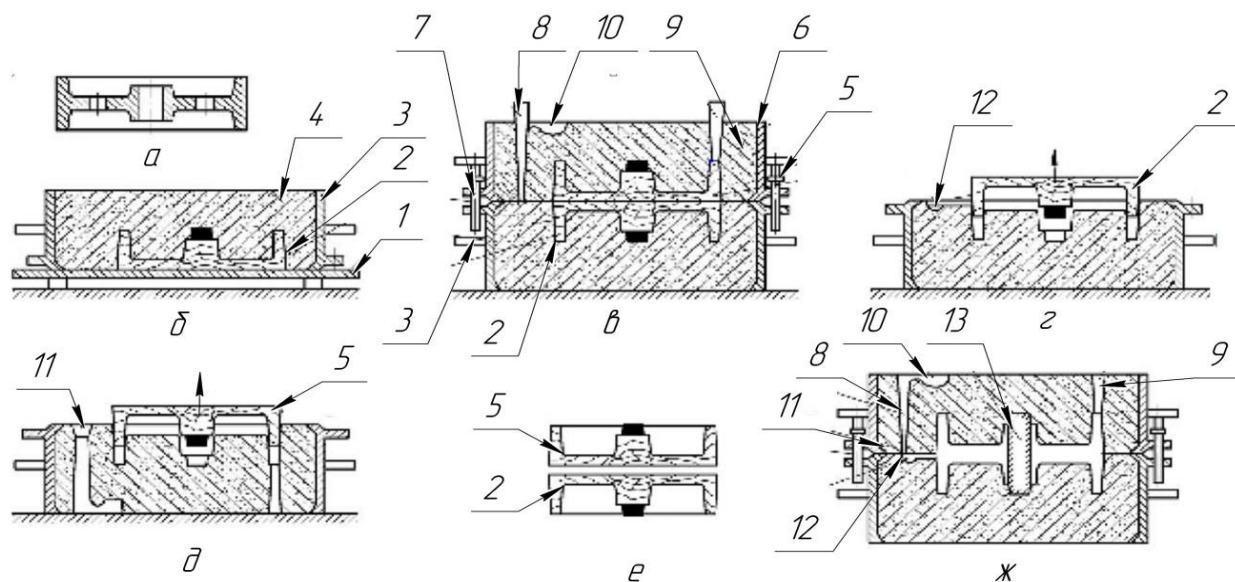


Рис. 19. Форма для изготовления шкива, выполненная в двух опоках:  
*а* - деталь; *б, в, г, д* - операции изготовления формы; *е* - модель;  
*ж* - собранная форма

Модель, предварительно протертую керосином, припудривают модельной пудрой и засеивают тонким слоем (15-20 мм) облицовочной смеси. Затем заполняют опоку наполнительной смесью и утрамбовывают вначале клиновой трамбовкой по углам, а затем плоской по всей поверхности. Набитую опоку накалывают душником, переворачивают на  $180^\circ$  и ставят на выровненную площадку на плацу.

На нижнюю половину модели по центрирующим штырям устанавливают верхнюю половину, и плоскость разъема формы посыпают сухим разделительным песком.

Затем на нижнюю опоку ставят верхнюю, припудривают модель, устанавливают модели литников и выпора и заформовывают верхнюю опоку в таком же порядке, как нижнюю. После набивки верхней опоки и накалывания в ней вентиляционных каналов вытаскивают из верхней опоки модель стояка и выпоров и расширяют верхнюю часть стояка в виде литниковой чаши.

Затем снимают верхнюю опоку, устанавливают ее плоскостью разъема вверх, прорезают питатели на нижней полуформе и смачивают кромки обеих полуформ в местах соприкосновения их с половинками моделей для предупреждения осыпания формовочной смеси при выемке модели. После этого вынимают подъемником модели из формы, исправляют возможные повреждения, припыливают и приглаживают поверхности, устанавливают стержень и, наконец, собирают форму для заливки, опустив верхнюю опоку на нижнюю по направляющим штырям.

Модели сложных отливок иногда требуют большого количества плоскостей разъема, так как при одной плоскости удаление отдельных частей модели невозможно.

**Формовка с подрезкой.** Применяется для изготовления отливок по неразъемной модели со сложной или криволинейной конфигурацией. Пример формовки с подрезкой показан на рис. 20.

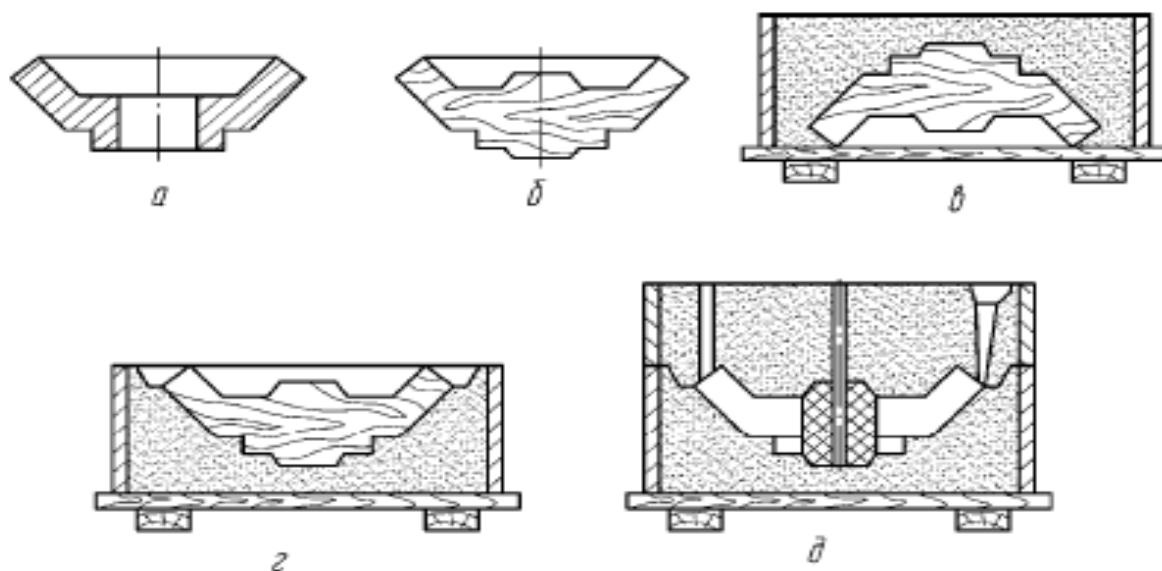


Рис. 20. Формовка с подрезкой:

*а* - деталь; *б* - модель; *в, з, д* - операции формовки

Модель кладут плоскостью разреза на подмодельный щиток и заформовывают в нижней опоке (рис. 20,в). Затем нижнюю опоку поворачивают на 180° и при помощи ланцета - или гладилки подрезают плоскость разреза (рис. 20,з), т.е. выбирают формовочную смесь по периметру модели так, чтобы ее можно было извлечь без нарушения формы. Подрезать необходимо до частей модели, мешающих свободному удалению ее из формы. После подрезки в форме получается выемка, стенки которой делаются пологими, чтобы земляной выступ (земляной болван), образующийся при изготовлении верхней полу формы, легче вынимался.

Плоскость разреза заглаживают и посыпают разделительным песком. Далее на нижнюю опоку ставят верхнюю, устанавливают модели литниковой системы и производят набивку верхней опоки. Формовку верхней полуформы производят обычным способом. При съеме верхней опоки необходимо соблюдать осторожность, чтобы земляной болван, образованный контуром подрезки, не обвалился. Затем модель из нижней опоки удаляют, форму отделяют и собирают для заливки (рис. 20,д).

**Формовка с фальшивой опокой.** Формовка с фальшивой опокой является разновидностью формовки с подрезкой. Фальшивая опока служит фасонным подмодельным щитком и участвует только в процессе формовки.

Процесс формовки с применением фальшивой опоки (рис. 21) заключается в следующем.

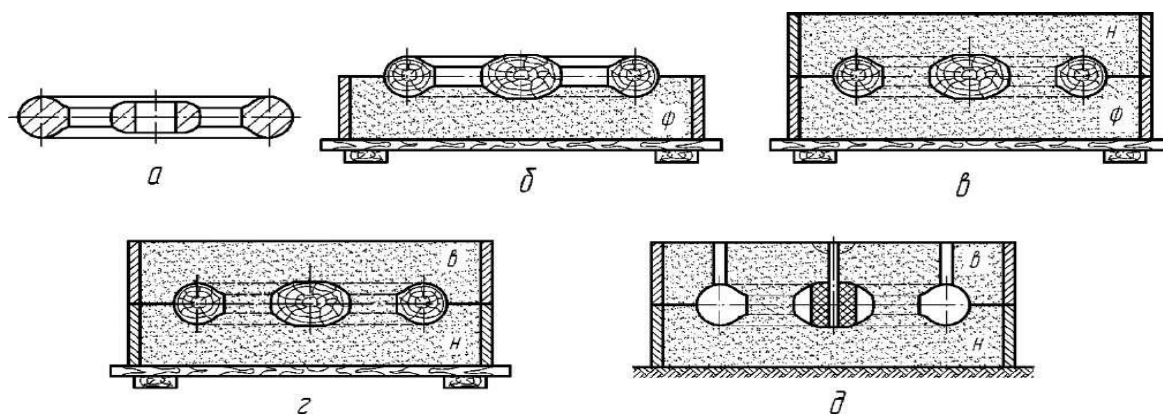


Рис. 21. Формовка с фальшивой опокой: *а* - деталь; *б*, *в*, *г* - операции формовки

На подмодельный щиток ставят опоку, насыпают в нее формовочную смесь и плотно набивают. Поверхность разъема заглаживают, в форме делают углубление, подобное очертаниям модели, в которое легкими ударами деревянного молотка в несколько приемов осаживают модель (рис. 21, *б*), затем расталкивают ее и вынимают. Поверхность отпечатка модели посыпают разделительным песком, после чего модель снова укладывают в форму. На эту так называемую фальшивую опоку устанавливают опоку низа, в которой производят формовку нижней полуформы (рис. 21, *в*). После набивки обе опоки поворачивают на  $180^\circ$  и снимают фальшивую опоку. Модель при этом остается в нижней опоке (рис. 21, *г*). Дальнейший процесс изготовления формы осуществляется как обычно (рис. 21, *д*).

Для большой партии отливок фальшивую опоку делают из гипса, глины или других прочных материалов, и она служит в качестве фигурного подмодельного щитка.

**Формовка по модели с отъемными частями.** Способ формовки по модели с отъемными частями почти не отличается от ранее описанных способов. На рис. 22 показана формовка по модели с отъемными частями, укрепленными на шпильках.

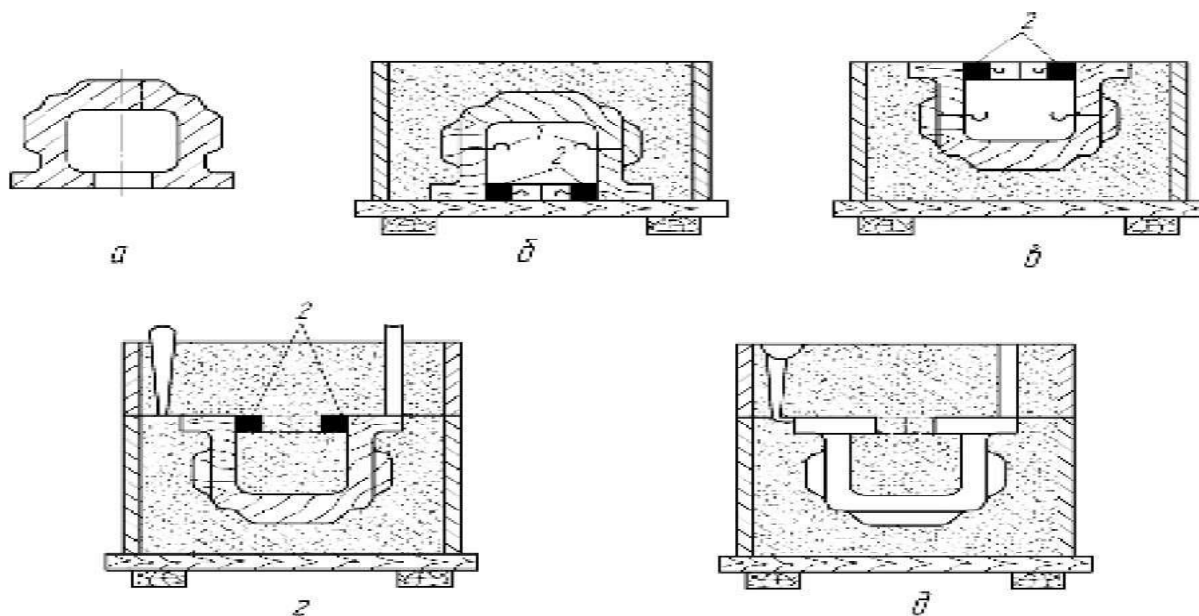


Рис. 22. Формовка по модели с отъемными частями: *а* - деталь;

*б, в, з, д* - операции формовки

Модель ставится на подмодельный щиток, накрывается опокой и набивается формовочной смесью (рис. 22,*б*). При набивке формы необходимо осторожно уплотнять смесь около отъемных частей модели, чтобы их не сместить. После этого шпильки *1* вытаскивают, опоку поворачивают на 180° (рис. 22,*в*). Затем на опоку низа устанавливают верхнюю опоку, формовочную смесь вокруг отъемных частей *2* осторожно уплотняют, шпильки вынимают из формы и заканчивают набивку (рис. 22,*з*). После извлечения модели и отъемных частей форму отделяют и собирают для заливки (рис. 22,*д*).

**Формовка в стержнях.** Применяется для изготовления отливок сложной конфигурации (ребристые цилиндры, турбины, коленчатые валы), а также отливок, требующих повышенной точности и чистоты поверхности. Для этого форма собирается из отдельных частей (сухих стержней), которые скрепляются между собой с помощью струбцин или специальных зажимов.

Иногда сборку стержней производят в специальных жакетах. Жакетная формовка позволяет получать отливки с чистыми поверхностями без пригара и с минимальными припусками на обработку. Этот способ упрощает операцию производства отливок, так как при нем полностью исключается комплекс операций по приготовлению формовочной смеси.

Для устранения пригара поверхность стержней перед сборкой окрашивается быстросохнущей краской. Однако, несмотря на эти преимущества, способ формовки в стержнях может оказаться сравнительно дорогим. Поэтому при решении вопроса о его применении нужно учитывать экономическую целесообразность.

**Формовка по модели с перекидным «болваном».** Способ формовки по разъемной модели с глубокими внешними или внутренними полостями и впадинами, оформляемые без стержней с «болваном» (рис. 23). Способ применяют при единичном и мелкосерийном производстве с целью уменьшения затрат на изготовление стержневой оснастки.

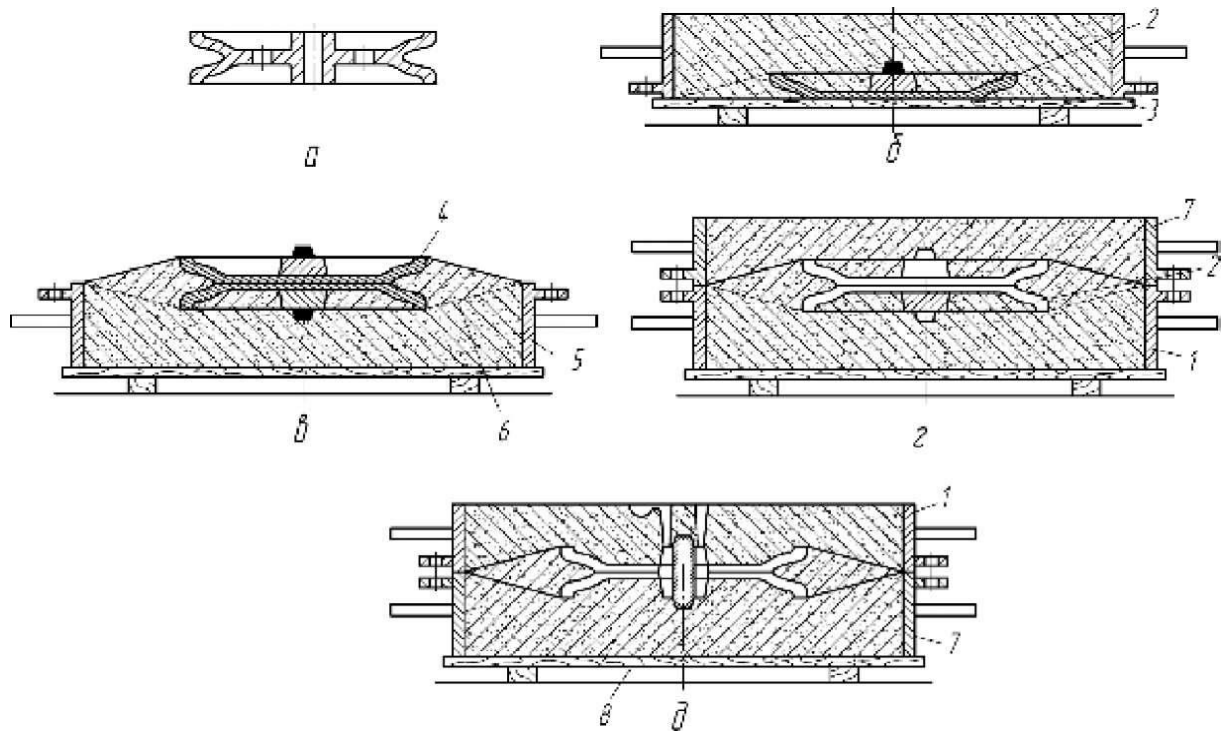


Рис. 23. Схема формовки по модели с перекидным «болваном»:

*а* - деталь *б, в, г, д* - этапы формовки

## 2.8. Машинная формовка

Машинная формовка применяется для повышения производительности труда и точности отливок.

Технологический процесс изготовления литейных форм на машинах складывается из ряда операций: установки опоки на машину, обдувки модельной плиты, нанесения разделительного состава, засыпки формовочной смеси, уплотнения, транспортирования, сборки форм.

Наиболее трудоемкими и ответственными являются операции уплотнения литейной формы и извлечения модели.

Существует несколько способов уплотнения смеси на машинах: прессование, прессование с вибрацией, встряхивание, встряхивание с подпрессовкой с помощью пескомета, пескодувный способ и др.

Особенность машинной формовки - высокая производительность труда, которая достигается за счет исключения ручных операций: устройства

вентиляционных отверстий, подрезки, использования съемных частей, перекидных болванов.

На рис. 24 приведены схемы изготовления формы для получения отливки крышки подшипника при ручной формовке с подрезкой (рис. 24,а) и машинной формовке (рис. 24,б). Использование фасонной модельной плиты при машинной формовке исключает операцию подрезки.

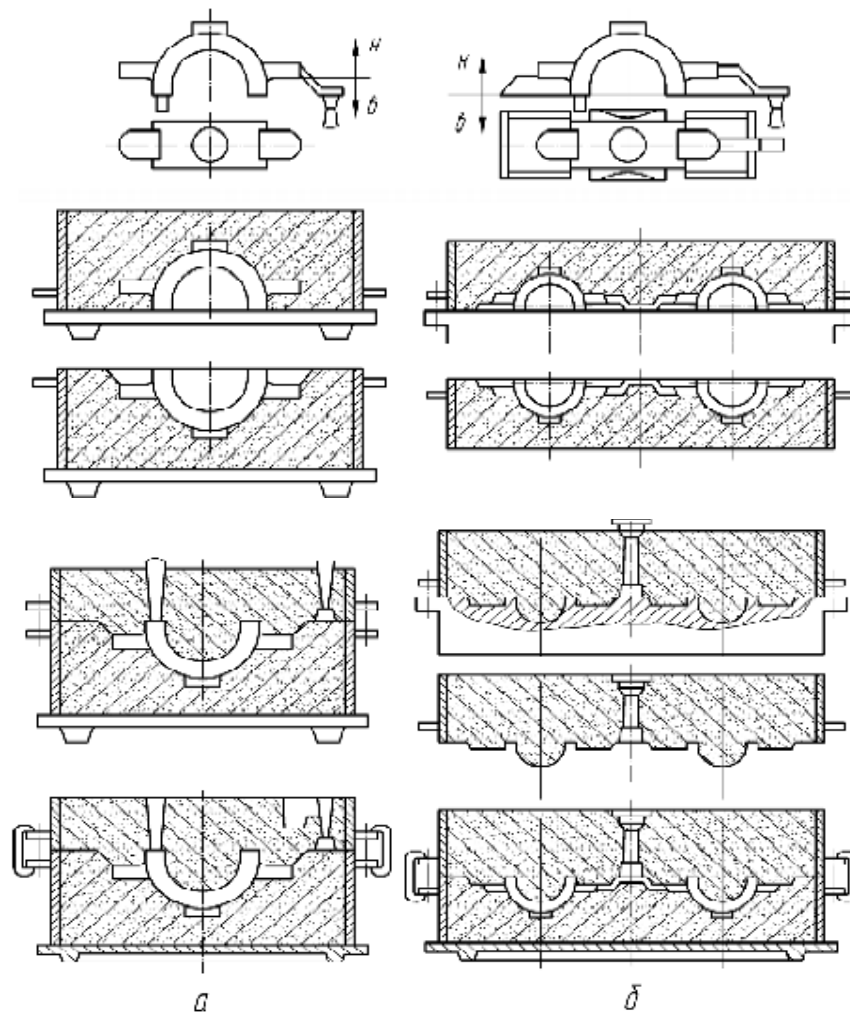


Рис. 24. Схемы изготовления формы для получения отливки крышки подшипника вручную (а) и на машинах (б)

На рис. 25 приведены схемы изготовления формы для отливки шкива вручную (рис. 25,а) и на машинах (рис. 25,б). Болваны укрепляют металлическими крючками, литниковую систему выполняют вручную. При

машинной формовке для получения канавки шкива применяют стержень Ст2, формовку осуществляют в двух опоках по фасонной модельной плите.

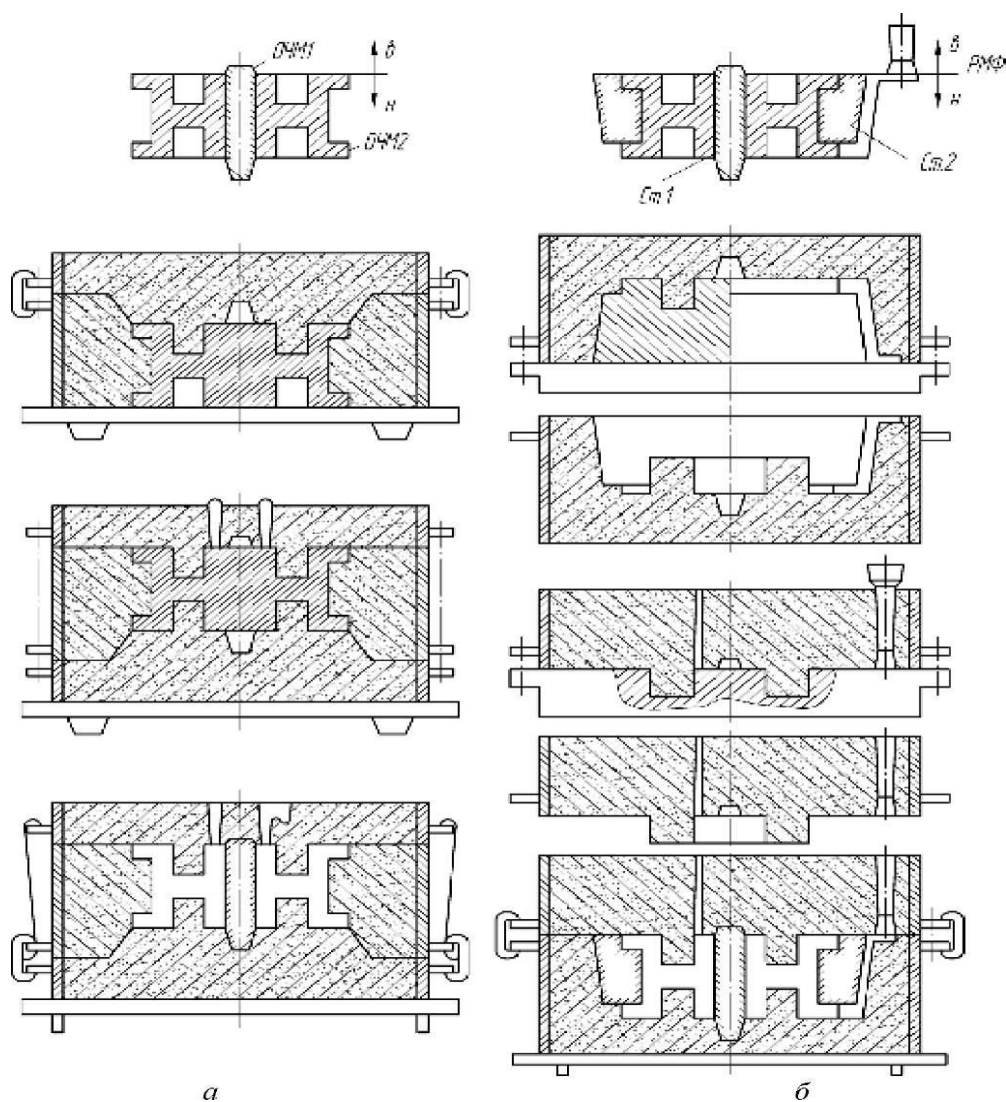


Рис. 25. Схемы изготовления формы для отливки шкива вручную (а) и на машинах (б)

Существует большое разнообразие формовочных машин, упрощенная классификация которых приведена в табл. 5 [2, 3]. На заводах массового производства (автомобильных, тракторных и др.) действуют автоматизированные формовочные линии. На рис. 26 приведены схемы уплотнения смесей на некоторых формовочных машинах.



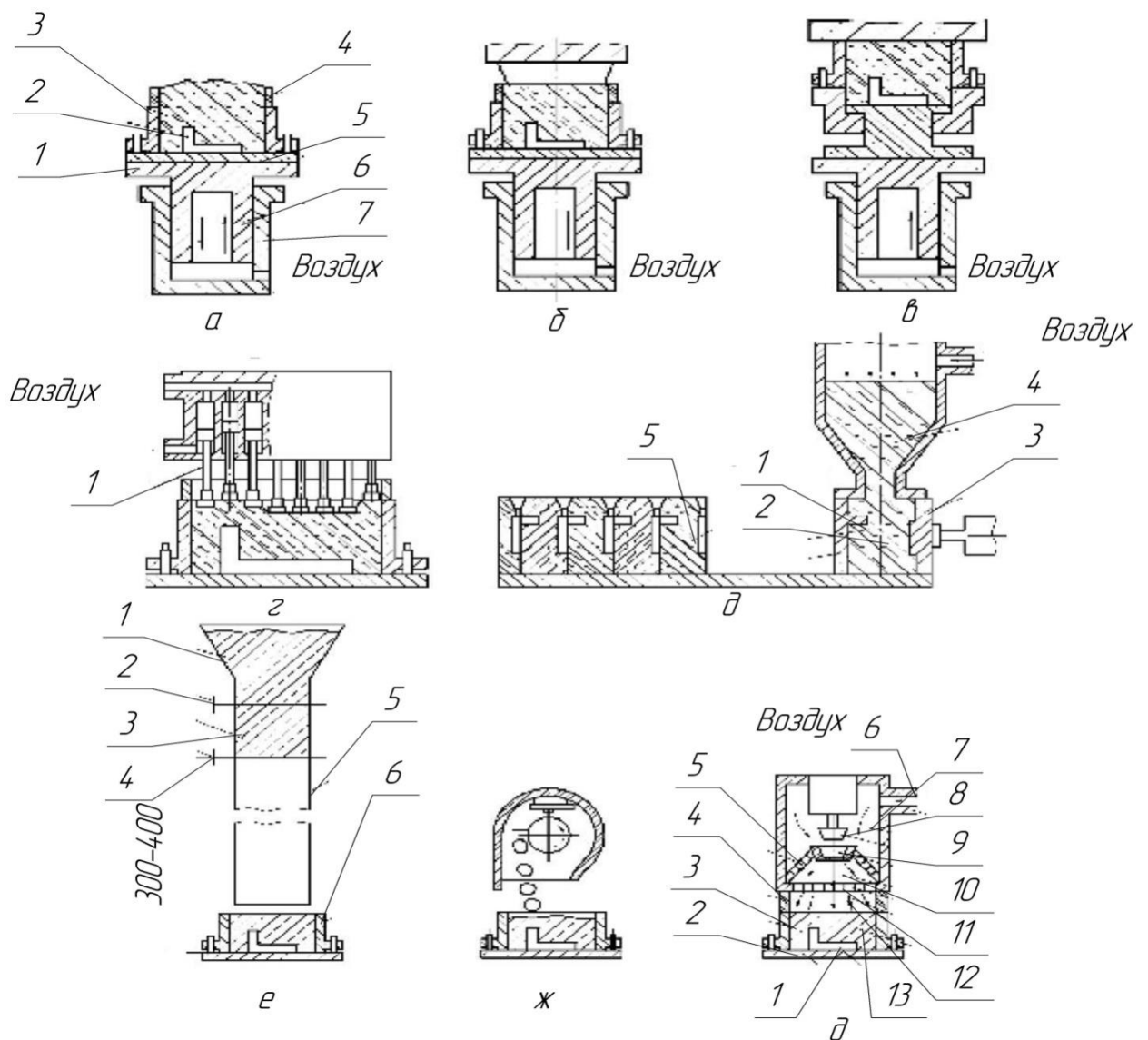


Рис. 26. Схемы уплотнения смесей различными методами

При уплотнении на встряхивающих формовочных машинах (рис. 26,а) модельная плита 1 с моделью 2, опокой 3 и наполнительной рамкой 4 устанавливаются на стол формовочной машины 5. Из бункера сверху в опоку насыпают смесь.

Под поршень 6 подается воздух под давлением  $(5-6) \times 10^5$  Па, поднимающий стол до тех пор, пока не откроется выпускное отверстие 7, через которое воздух из-под поршня уходит в атмосферу.

## Классификация формовочных машин

Классификационный признак	Типы машин
Способ уплотнения смеси	Встряхивающие
	Прессовые
	Встряхивающе-прессовые
	Вибропрессовые
	Пескодуювно -прессовые
	Гравитационные
	Пескометы
	Импульсивные
Извлечение модели из уплотненной формы	С поворотным столом
	С перекидным столом
	С штифтовым подъемом
	С протяжной плитой
Степень автоматизации	Полуавтоматические (включаемые при каждом новом цикле)
	Автоматические (управляемые автоматически без участия человека)

Стол при этом резко опускается вниз, ударяясь о цилиндр 8. Смесь уплотняется за счет движения по инерции вниз. Так повторяется несколько десятков раз. Смесь хорошо уплотняется у модели, верхние же ее слои остаются недоуплотненными. Доуплотнение осуществляют вручную или допрессовкой на той же машине. В России работают встряхивающие и встряхивающее - прессовые машины с наибольшими габаритными размерами опок в свету 2500x2000x800 мм, грузоподъемностью до 10т производительностью 8 полуформ в час.

Прессование полуформ может быть верхним и нижним. При верхнем прессовании сначала уплотняются слои формовочной смеси, расположенные в верхней наполнительной рамке (рис. 26,б), независимо от того, поднимается ли опока к прессовой колодке (как это показано на рисунке), опускается ли прессовая колодка на формовочную смесь, расположенную в наполнительной рамке. При нижнем прессовании (рис. 26,в) сначала уплотняются слои смеси, находящиеся на модельной плите и самой модели. Для достижения большей равномерности уплотнения формовочной смеси по высоте опоки прессовая колодка иногда делается профильной, повторяя профиль модели. Прессовые формовочные машины производят до 120 полуформ в час с наибольшими размерами опок в свету 760x180x110 мм.

Разновидностью верхнего прессования является уплотнение формовочной смеси так называемой многоплунжерной прессовой головкой (рис. 26,з), состоящей из нескольких десятков независимых друг от друга плунжеров 1, работающих под давлением масла или воздуха. Такое прессование обеспечивает наибольшую равномерность уплотнения по всему объему опоки.

При пескодувно-прессовом уплотнении (рис. 26,д) весь процесс осуществляется в два этапа. Сначала в полость 1, заключенную между вертикально расположенными модельными плитами 2 и 3, формовочная смесь 4 подается пескодувным методом с помощью воздушного давления, предварительно уплотняясь. Затем модельная плита 3 подается поршнем влево, прессуя смесь. По окончании прессования плита 2 сначала отходит влево, затем разворачивается вверх, занимая положение, показанное штрихпунктиром на рисунке. Ком смеси модельной плитой 3 подается влево до упора в предыдущий ком 5, плотно прилегая к ранее изготовленным формам, после чего все формы передвигаются влево к заливочной установке. Весь процесс от уплотнения смеси до заливки металлом автоматизирован. Производительность автоматизированной формовочной линии составляет 360 форм в час и более (при наличии стержней - 300 форм в час).

При гравитационном уплотнении (рис. 26,е) смесь поднимается на определенную высоту в бункер 1, из которого через шибер 2 попадает в дозатор 3. Благодаря быстрому открыванию дна дозатора 4 смесь в виде компактного кома по шахте 5 свободно попадает в опоку или стержневой ящик 6. Уплотнения только гравитационным способом недостаточно. Поэтому для доуплотнения применяют подпрессовку усилием  $(5-10) \times 10^5$  Па (гравитационно-прессовый способ) или вибрацию (гравитационно-вибрационный способ).

При единичном и мелкосерийном производстве крупных отливок для уплотнения форм используют пескометный способ (рис. 26,ж). Формовочная смесь ленточным транспортером подается на быстро вращающийся ротор с ковшом. Последний, захватывая смесь, бросает ее в опоку, установленную на модельной плите (или в стержневой ящик), производя, таким образом, уплотнение. Пескометная головка может перемещаться в горизонтальной плоскости. Управление пескометом осуществляется оператором, наблюдающим одновременно за процессом наполнения опоки. Производительность пескометов колеблется от 6 до 50 м<sup>3</sup>/час уплотненной формовочной смеси.

При изготовлении форм импульсным методом (рис. 26, з) на модельную плиту 1 с вентилями 2 (тонкие отверстия, через которые проходит воздух, но не проходит смесь) устанавливаются опока 3 и наполнительная рамка 4, после чего они заполняются формовочной смесью. Над наполнительной рамкой устанавливается импульсная головка 5, и вся оснастка прижимается друг к другу (герметизируется). Из специальной магистрали 6 в ресивер 7 головки поступает сжатый воздух. При уплотнении запорный клапан 8 поднимается вверх, пропуская сжатый воздух через отверстие 9 в полость 10. Из полости 10 через отверстия 11 воздух устремляется в полость прессования 12, уплотняя смесь 13. Пройдя через смесь, воздух уходит в атмосферу через вентили 2. При этом давление над смесью от максимального падает до атмосферного за доли

секунды. Под действием сжатого воздуха смесь наполнительной рамки перемещается в опоку и уплотняется.

Схемы пескодувных и пескострельных машин представлены на рис. 27.

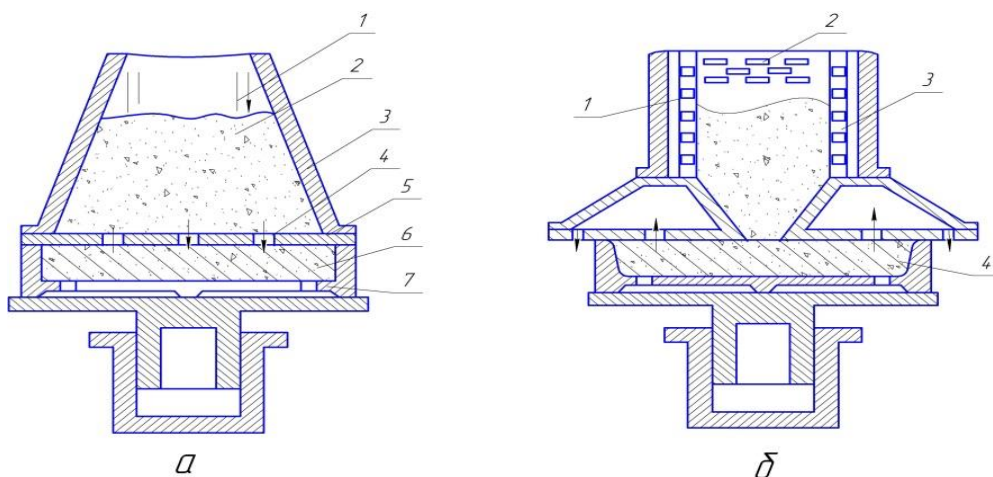


Рис. 27. Схемы пескодувной (а) и пескострельной (б) машин для изготовления стержней

К надувной плите снизу пневмопоршнем поднимается стержневой ящик. Рабочее давление воздуха составляет  $(5-10) \times 10^5$  Па. В случае пескодувной машины (рис. 27,а), сжатый воздух 1 подается на верхнюю поверхность стержневой смеси 2, находящийся в резервуаре 3. Смесь вместе с воздухом через вдувные отверстия 4 надувной плиты 5 машины попадает в полость стержневого ящика 6. Воздух через венты 7 уходит в атмосферу цеха. В пескострельный резервуар (рис. 27,б) вмонтирована специальная гильза 1 с щелевыми отверстиями 2, 3, вертикальными в нижней части и горизонтальными в верхней. Через эти отверстия воздух из ресивера в момент выстрела с большой скоростью устремляется в резервуар со смесью, выталкивая ее в полость стержневого ящика 4. Стержни могут отверждаться сушкой в сушилах или непосредственно в стержневых ящиках после уплотнения. В этом случае стержневые ящики могут быть холодными или нагреваться электрическим током или газом. В обоих случаях в качестве связующего используются синтетические смолы. Однако при горячем отверждении основным активатором отверждения является тепло, при

холодном только катализаторы отверждения. Последние могут быть введены в смесь при ее приготовлении (так называемые ХТС - холодно твердеющие смеси) или после уплотнения смеси в стержневом ящике путем продувки газообразными катализаторами.

Машинная формовка широко внедряется в практику работы литейных цехов не только массового и крупносерийного производства, но также мелкосерийного и даже единичного. До недавнего времени это сдерживалось в основном из-за необходимости частой смены модельных плит и настройки формовочных машин при переходе на другую модельную плиту. Сейчас это затруднение ликвидировано в связи с применением координатных модельных плит и унификацией опок.

Координатная модельная плита (рис. 28) в отличие от обычных имеет базовые отверстия для фиксации и крепления моделей. Эти отверстия расположены так, что образуют сетку с равными расстояниями между осями. Для установки на эти плиты моделей по заранее определенным координатам каждое базовое отверстие имеет свой шифр.

На рис. 28 показаны горизонтальные оси, обозначенные цифрами, и вертикальные оси, обозначенные буквами. Тогда крайнее левое отверстие на изображенных плитах получает шифр *А1*, отверстие ниже его имеет шифр *Б1* и т.д.

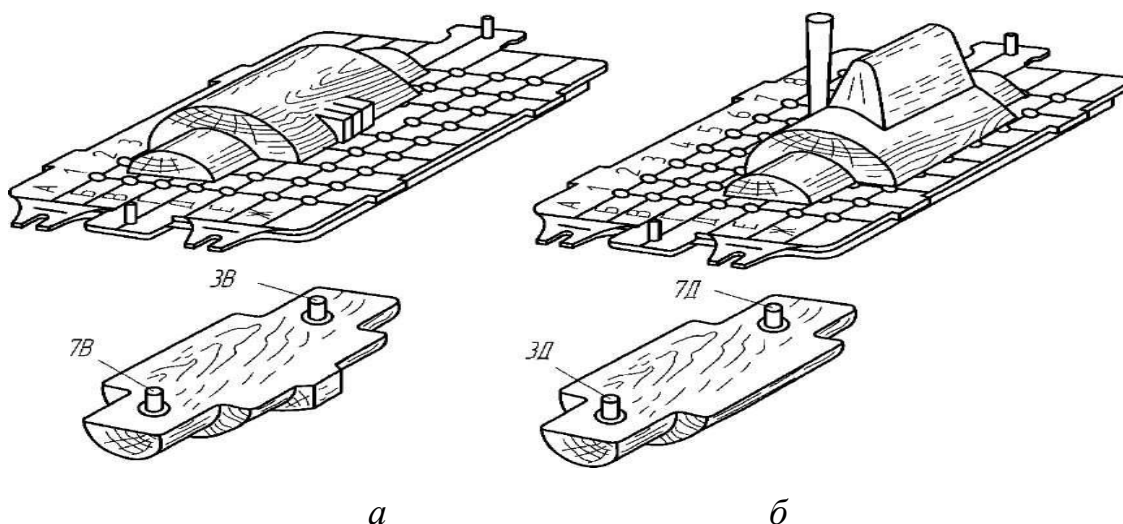


Рис. 28. Монтаж моделей на координатной плите: *а* - монтаж модели «низа»; *б* - монтаж модели «верха»

Половинки моделей, показанные на рис.28 монтируются штифтами *ЗВ* и *7В* на нижней плите, и штифтами *ЗД* и *7Д* - на верхней.

Значительный эффект от применения машинной формовки в условиях единичного производства дает также использование быстросменных модельных плит (рис. 29). Такая плита имеет рамку *1* с гнездами *5*, в которых могут устанавливаться сменные модели *2*, прикрепленные к модельным плитам-вставкам *3*. Эти вставки укрепляются в общей рамке при помощи винтовых прижимов *4*.

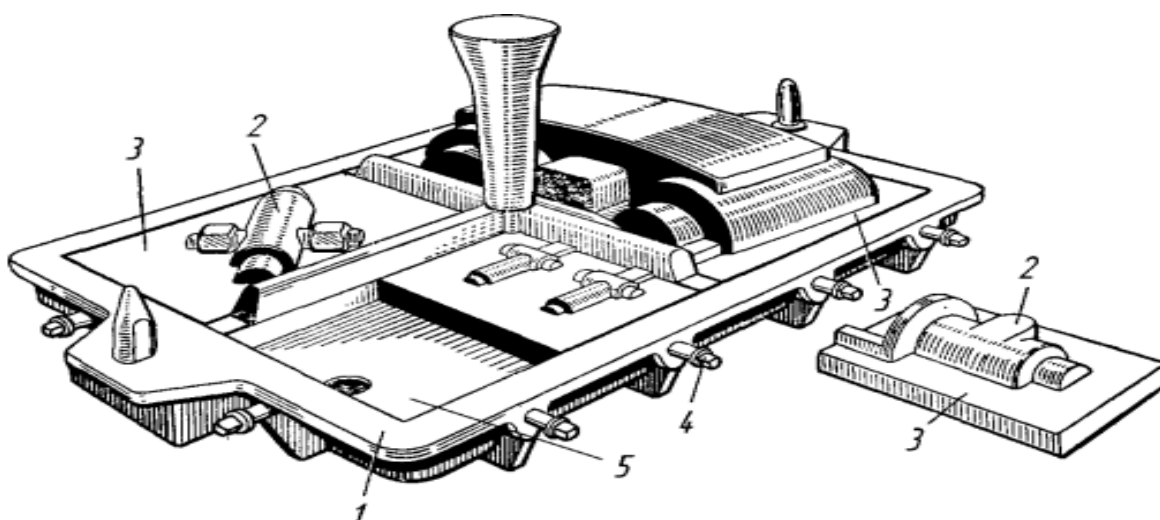


Рис.29.Быстросменные модельные плиты

Таким образом, на модельной плите могут быть смонтированы модели для нескольких отливок. Установка такого сборного модельного комплекта занимает очень мало времени (1-2 мин), поэтому этот способ формовки становится достаточно экономичным и оправдывает себя при изготовлении даже очень мелкой партии отливок (10-20 штук).

Формовочные машины предназначены не только для механизации процесса уплотнения формовочной смеси, но и для извлечения моделей из уплотненных опок. Удаление моделей из полуформ осуществляется несколькими способами.

На рис. 30 показана схема машины со штифтовым съемом. При ходе вверх четырех штифтов 4, расположенных по углам опоки 1, уплотненная полуформа снимается с модельной плиты 3, прикрепленной к столу 5 формовочной машины. На рис. 30,а показано положение штифтов до съема, а на рис. 30,б после съема полуформы.

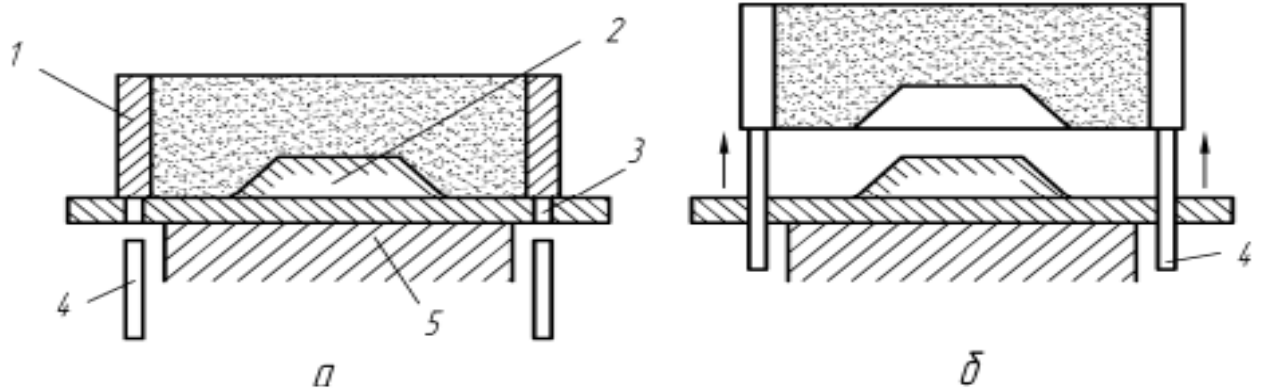


Рис. 30. Штифтовый съем опок плиты

Отделение высоких моделей или моделей с вертикальными стенками производится на машинах с протяжными плитами (рис. 31, а). Модель 1 опускается вместе с опускающим столом 2, а заформованная опока остается на протяжной плите 3.

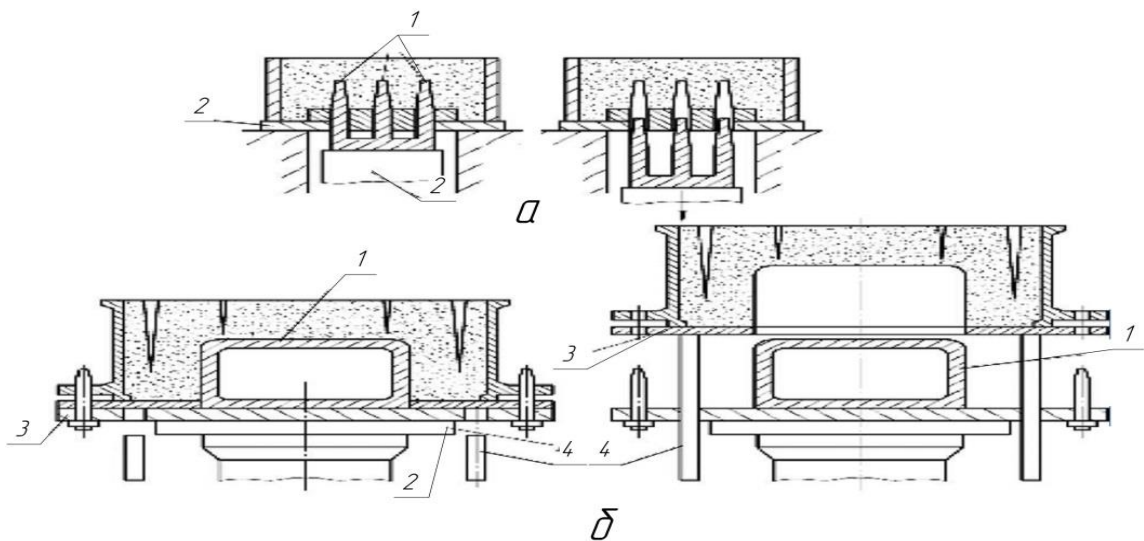


Рис. 31. Формовочная машина с протяжной плитой



Существуют конструкции машин (рис. 31, б), при которых стол машины 2 с модельной плитой и моделью 1 остается неподвижным, а протяжная плита 3 с установленной на ней опокой поднимается вверх при помощи штифтов 4.

Протяжная плита предотвращает опасность обвала смеси в форме.

При изготовлении форм с массивными земляными «выступами» и при формовке нижних опок отделение модели от формы обычно производится на машинах с поворотной плитой или перекидным столом (рис. 32).

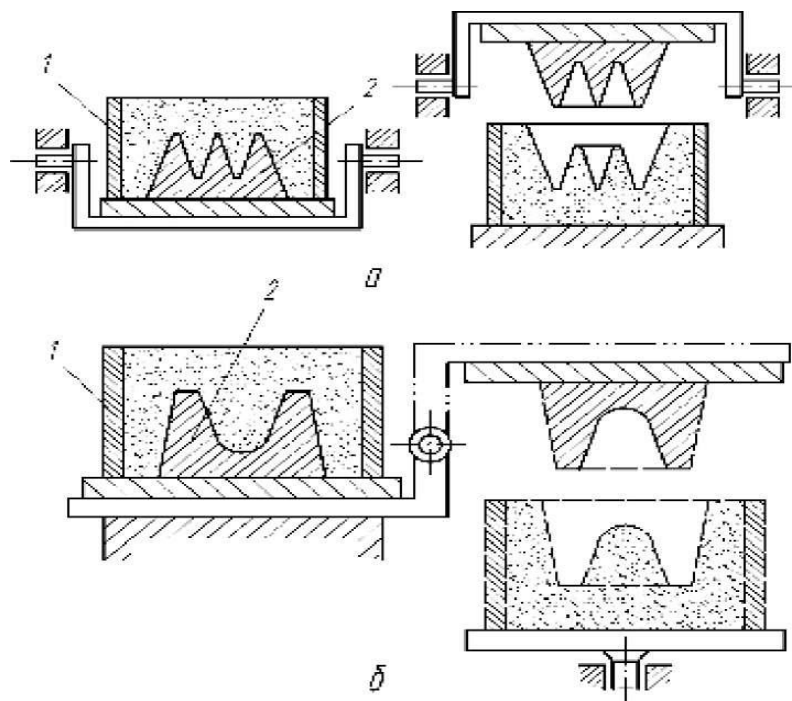


Рис. 32. Машины с поворотной плитой (а) и с перекидным столом (б)

При формовке на этих машинах перед отделением модели 2 от формы опока 1 поворачивается на  $180^\circ$  и опускается на приемное устройство, которое в поворотных машинах находится непосредственно под плитой, а у перекидных - вынесено в сторону.

В литейных цехах большое распространение получили литейные конвейеры, объединяющие в единый производственный поток ряд операций, выполняемых на машинах и установках с различной степенью механизации (рис. 33).

Литейный конвейер представляет собой множество платформ 9, непрерывно движущихся по рельсам 10 при помощи тяговой замкнутой цепи, приводимой в движение от приводной станции 8. Литейные формы 4 со сборочных рольгангов 5, примыкающих к формовочному участку, передаются в заливочное отделение. Заливка производится рабочим, находящимся на движущейся платформе 1, при помощи наклона разливочного ковша 2, который поступает из плавильного отделения по монорельсу 3.

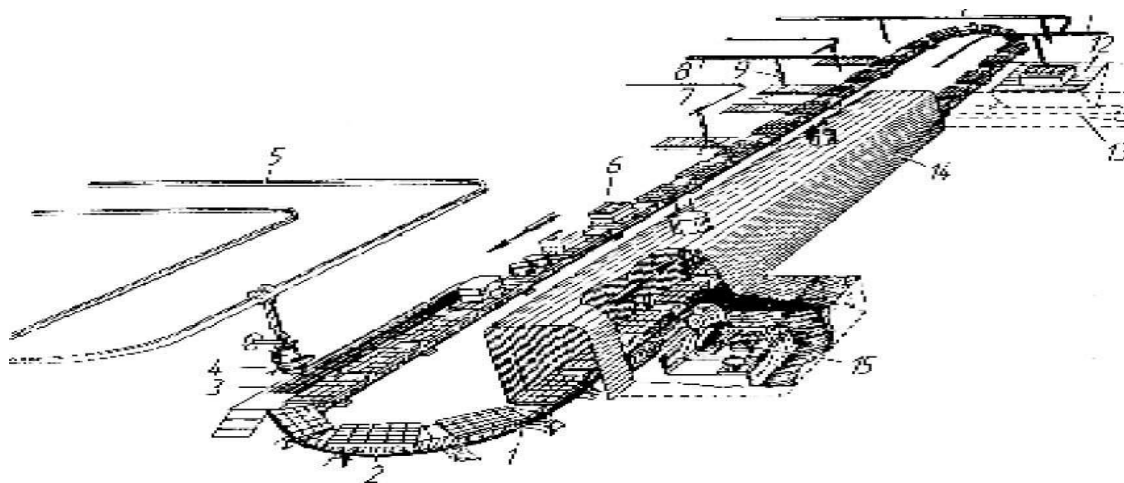


Рис. 33. Литейный конвейер: 1 - заливочная площадка; 2 - заливочный ковш; 3 - монорельс; 4 - форма; 5 - формовочные машины; 6 - рольганги; 7 - пневматический подъемник; 8 - выбивная решетка; 9 - транспортер; 10 - охлаждающая камера; 11 - привод; 12 - тележки; 13 – рельсы

Формы, залитые металлом, движутся под охлаждающей кожух 7 и после остывания - на выбивную решетку 6. Выбитые отливки проваливаются в люк выбивной решетки и пластинчатым транспортером передаются в обрубное отделение. Выбитая из опок формовочная смесь проваливается через решетку на ленточный транспортер и, пройдя сепарацию, подается в смесеприготовительное отделение. Освобожденные опоки возвращаются на участок формовки для повторного использования.

В литейных цехах нашли применение автоматические формовочные линии, на которых изготовление форм происходит без участия человека, а

только под его контролем и наблюдением. На рис. 34 показана принципиальная схема такой линии.

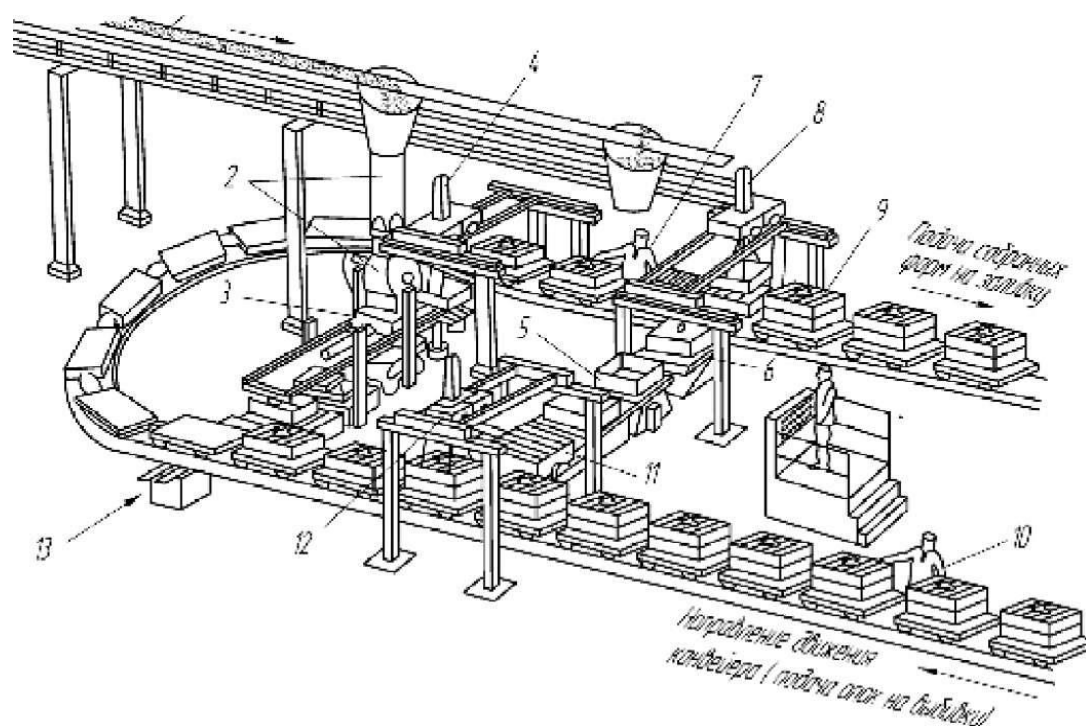


Рис. 34. Автоматическая формовочная линия: 1 -транспортерная лента; 2 - бункер с дозатором; 3 -формовочный автомат нижних опок; 4 - механизм кан-тователя и подаватель нижних опок; 5 -формовочный автомат верхних опок; 6 -линия верхних опок; 7 -установка стержней; 8 -механизм сборки форм; 9 -заливочный конвейер; 10 -удаление splесков металла; 11 -автоматическая выбивная установка; 12 -механизм съема и распаровки опок; 13 -линия нижних опок

В линию вмонтированы формовочные автоматы 3 и 5, на которых формируются соответственно нижняя и верхняя полуформы. При помощи кантователя 4 нижние полуформы поворачиваются на 180° и передаются на транспортерную линию 7 для установки стержней.

Сборка нижней и верхней полуформ производится механизмом 8, после чего готовые к заливке формы подаются на заливочный конвейер 9 (на рис. 34 показана только его часть). Для скрепления полуформ на них накладываются

грузы, а затем собранные формы подаются последовательно на заливочный участок, в зону охлаждения, на позицию *10* для удаления сплесков металла и на автоматическую выбивную установку *11*.

В современных линиях перекладка грузов, скрепляющих полуформы, с охлаждающей зоны конвейера на зону сборки осуществляется автоматически при помощи специальных механизмов грузоукладчиков.

Освобождающиеся после выбивки опоки механизмом съема и распаровки *12* разделяются на два потока: нижние опоки передаются на линию *13*, а верхние - на линию *б*. В дальнейшем процессы повторяются по описанной выше схеме.

Формовочная смесь, необходимая для изготовления полуформ, из смесеприготовительного отделения при помощи транспортерной ленты *1* подается к бункерам с дозаторами *2*, установленным над формовочными автоматами.

В современных литейных цехах осуществляются принципы комплексной автоматизации. С этой целью автоматические формовочные линии объединяются с блоклиниями для изготовления стержней, автоматическими линиями для заливки и выбивки форм, поточными линиями для очистки, зачистки и окраски форм.

Для обеспечения надежных связей между отдельными агрегатами, входящими в состав автоматических линий, предусматриваются соответствующие накопители для опок, готовых форм и др.

## **2.9. Способы формовки на автоматических линиях**

Автоматическая линия формовки, заливки и набивки (рис. 35) предназначена для производства отливок в разовых песчано-глинистых формах в сталелитейных и чугунолитейных цехах в условиях серийного и крупносерийного производства отливок. Линия создана на базе двух трехпозиционных формовочных машин, соединенных в единый комплекс рольгангами, и горизонтально-замкнутого тележечного литейного конвейера.

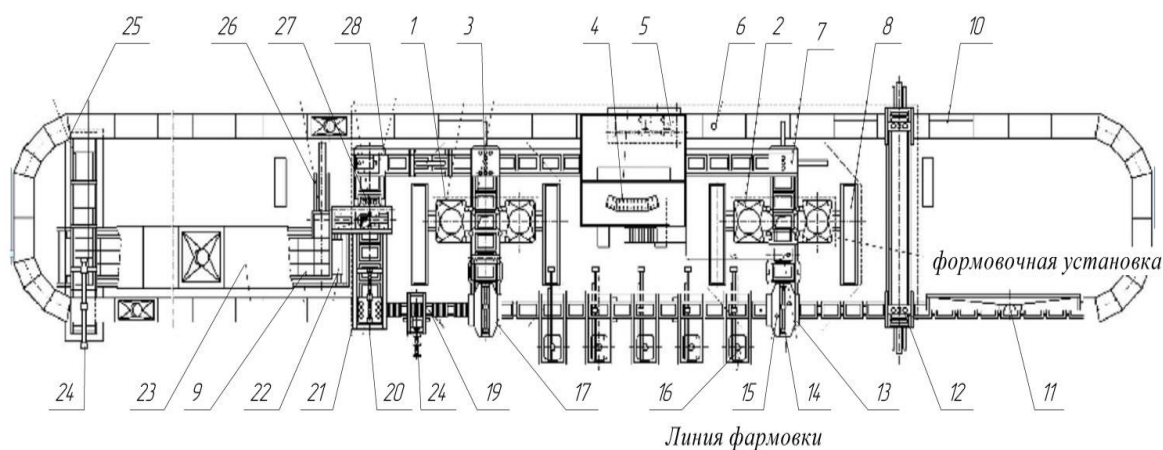


Рис. 35 Схема планировки комплексной автоматической линии модели Л450А: 1, 2 - формовочная установка мод. 3019; 3 - распаровщик; 4 - центральный пульт управления; 5 - каретка силовых гидроцилиндров литейного конвейера; 6 - рольганг; 7 - устройство передачи верхних опок к формовочному автомату; 8 - устройство для замены модельных комплектов; 9 - брикеты на конвейере охлаждения; 10 - охлаждающий тоннель; 11 - место заливки; 12 - укладчик грузов; 13 - механизм накалывания вентиляционных каналов; 14 - кантователь верхних полуформ; 15 - сборщик форм; 16 - стержнеукладчик; 17 - устройство передачи нижних полуформ на литейный конвейер; 18 - устройство для срезания излишка смеси; 19 - тележка конвейера; 20 - устройство для очистки тележек; 21 - устройство для передачи залитых форм с литейного конвейера на выбивку; 22 - охлаждающий конвейер; 23 - тоннель интенсивного охлаждения; 24 - толкатель брикетов на выбивку; 25 - выбивная решетка; 26 - толкатель брикетов на конвейер охлаждения; 27 - установка выдавливания брикетов с отливками из опок; 28 - устройство передачи комплекта пустых опок; 29 - литейный пульсирующий конвейер; 30 - кантователь нижних полуформ.

Уплотнение смеси происходит встряхиванием с последующим прессованием. Основные узлы: литейный пульсирующий конвейер, механизм съема форм с литейного конвейера, рольганга, механизм выдавливания «кома», механизм очистки опок, конвейер дополнительного охлаждения, выбивные решетки, распаровщик, трехпозиционные формовочные машины для фармовки

нижних и верхних полуформ, кантователь, установщик нижних полуформ на конвейер, сборщик форм, грузоукладчик, электрооборудование, гидрооборудование.

Работа линии происходит следующим образом. Залитые и охлажденные формы поступают на позицию механизма съема форм, поднимаются над литейным конвейером и по рольгангу перемещаются к механизму выдавливания «кома», где происходит выдавливание комьев смеси с отливками вверх, откуда они попадают на конвейер дополнительного охлаждения. Этот конвейер позволяет резко сократить парк опок и сэкономить производственные площади за счет уменьшения длины литейного конвейера.

Далее комья смеси с отливками, перемещаясь по конвейеру, попадают на выбивную решетку, где происходит отделение отливок от горелой смеси.

Пустые опоки по рольгангу поступают на позицию механизма очистки опок, где очищаются от остатков смеси и передаются на рольганг, а затем - в распаровщик. После распаровщика опоки низа поступают в формовочную машину для изготовления нижних полуформ, а опоки верха по рольгангу двигаются к формовочной машине изготовления верхних полуформ. Изготовленные нижние полуформы передаются на кантователь, где они кантуются и поступают на позицию установщика нижних полуформ, откуда литейным конвейером передаются к сборщику форм.

На участке литейного конвейера между установщиком нижних полуформ и сборщиком происходит установка стержней в нижние полуформы.

Полуформы верха, изготовленные на формовочной машине, передаются на кантователь, кантуются для осмотра, затем снова переворачиваются и поступают на позицию сборщика, где собираются с нижними полуформами.

Собранные формы, перемещаясь по литейному конвейеру, нагружаются с помощью грузоукладчика и поступают на участок заливки, где происходит заливка их металлом. После заливки, постепенно охлаждаясь, формы перемещаются к позиции механизма съема форм, и цикл повторяется.

Учитывая повышенные требования, предъявляемые к формовочным смесям, применяемым на автоматизированных установках, многие формовочные линии изготавливаются совместно со смесеприготовительными установками.

В современных литейных цехах осуществляются принципы комплексной автоматизации. С этой целью автоматические формовочные линии объединяются с блок-линиями для изготовления стержней, автоматическими линиями для заливки и выбивки форм, поточными линиями для очистки, зачистки и окраски форм.

Наиболее применяемыми являются линии безопочной формовки со сборкой форм в горизонтальную опоку. Основные преимущества изготовления отливок на таких линиях по сравнению с опочной формовкой на автоматических линиях следующие:

- отсутствие опочной оснастки;
- отсутствие транспортных средств и механизмов для перемещения и манипуляций с пустыми опоками;
- простота устройств для выбивки безопочных форм;
- отсутствие устройств для нагружения форм во время заливки.

В табл. 7 приведена техническая характеристика линии АЛ23714 [4].

Таблица 7

Техническая характеристика линии АЛ23714

Параметр	Норма
Габаритные размеры форм (брикетов), мм	800x600
Высота формы в стопке, мм	250-400
Цикловая производительность, форм/ч	300
Металлоемкость формы, кг	
Средняя	40
Наибольшая	80
Давление прессования, МПа	до 2,5

На рис. 36 показана комплексная автоматическая линия безопочной горизонтально-стопочной формовки.

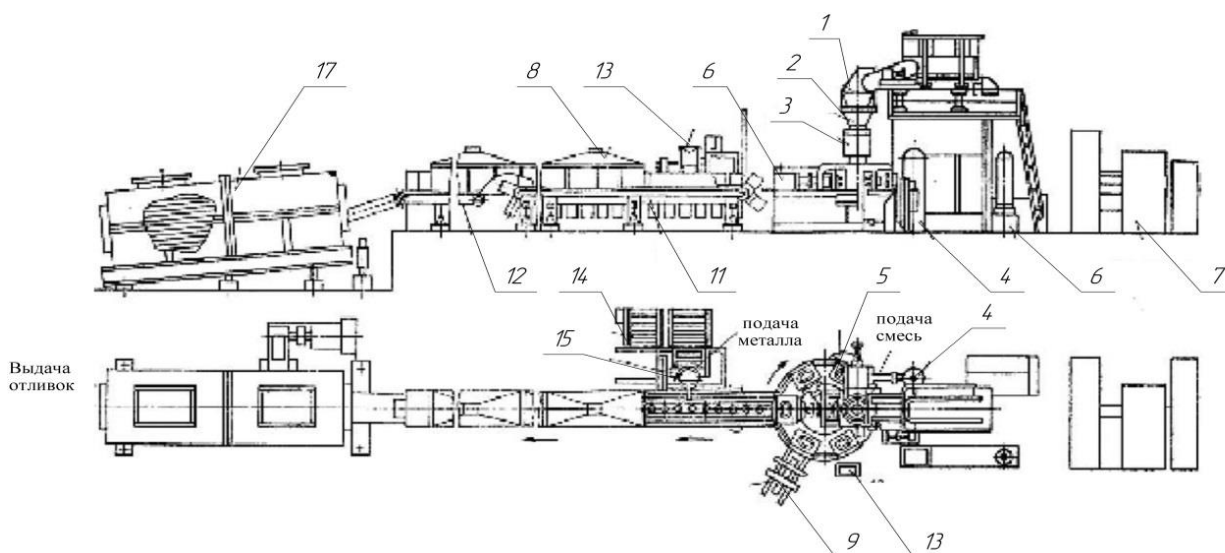


Рис. 36. Комплексная автоматическая линия АЛ23714 безопочной горизонтально-стопочной формовки, сборки, заливки и выбивки:

1 - дозатор ленточный 19613; 2 - бункер; 3 - пескодувная головка;  
 4 - ресивер; 5 - формовочный автомат; 6 - поворотный стол;  
 7 - гидроагрегат; 8 - гидроаккумулятор УГ.210.000; 9 - стержнеукладчик;  
 10 - шаговый конвейер; 11 - цепной конвейер; 12 - ленточный конвейер;  
 13 - заливочная машина 4126 А; 14 - роликовый конвейер заливочной машины; 15 - заливочный ковш; 16 - выбивающая вибрационно-инерционная решетка 31222; 17 - выбивающий барабан 31312; 18 - пульт управления линией.

На рис. 37 приведена схема процесса безопочной формовки с горизонтальным разъемом формы.

На столе машины (рис. 37, а) устанавливают верхнюю опоку в опрокинутом положении и на нее кладут двустороннюю модельную плиту. На эту плиту ставят нижнюю опоку, затем засыпают в нее смесь, которую уплотняют встряхиванием. После этого опоку устанавливают на подпочный щиток и переворачивают на 180°, затем в верхнюю опоку засыпают смесь и уплотняют при помощи встряхивания и последующего прессования (рис. 37, б).



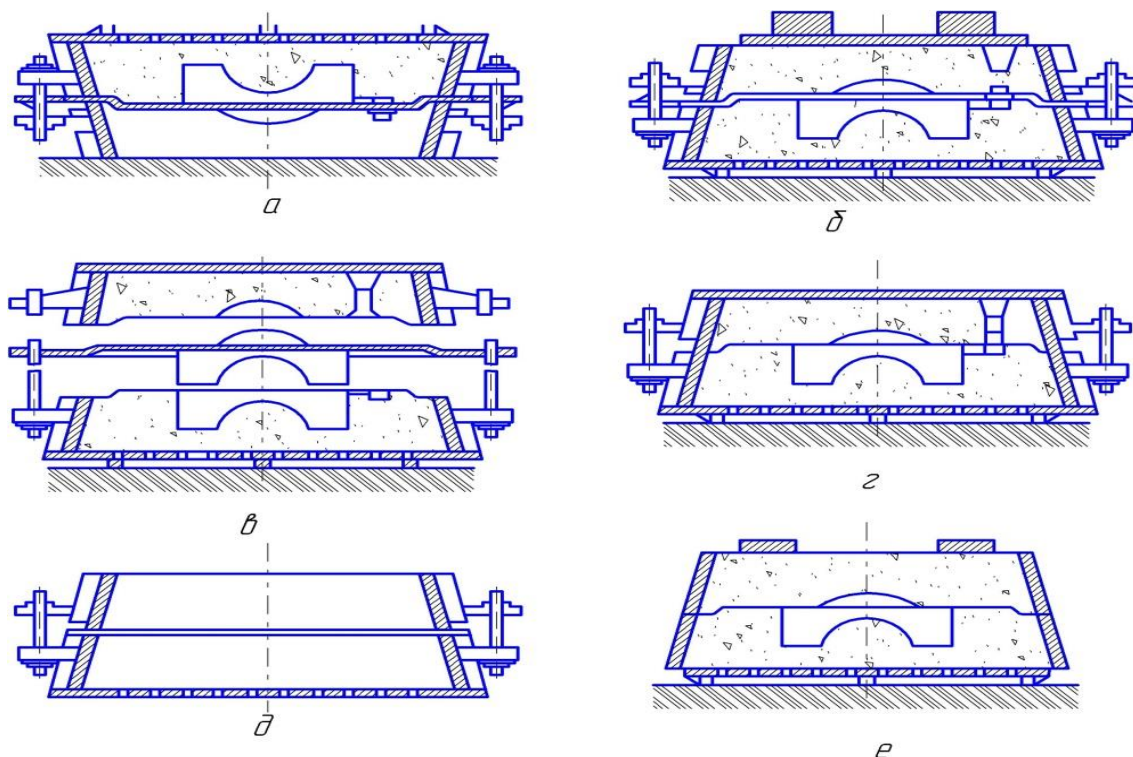


Рис. 37. Безопочная формовка

Далее прорезают стояк, снимают верхнюю опоку, удаляют модель (рис. 37, в), устанавливают стержни и осуществляют сборку формы (рис. 37, г).

После этого опоки снимают (рис. 37, д), а форму на подпочном щитке ставят на конвейер для заливки. Перед заливкой на форму надевают жакет (рис. 37, е) и сверху кладут груз для предотвращения подъема верхней половины формы под давлением жидкого металла.

Для предотвращения сдвига верхней полуформы относительно нижней, а также для предупреждения прорыва металла по разьему формы модельные плиты для безопочной формовки обычно делаются с уступом-замком высотой 10 мм и уклоном 45°.

Безопочная формовка применяется обычно при массовом производстве мелкого литья (массой до 5 кг).

В практике получения отливок безопочной формовкой на многих заводах в нашей стране и за рубежом нашли применение автоматические формовочные линии изготовления безопочных форм с вертикальным разъемом по технологии Дисаматик.

Линии Дисаматик компактны, удобны в эксплуатации.

На рис. 38 приведена схема изготовления безопочных форм с вертикальным разъемом на линии Дисаматик мод. 2110 [4].

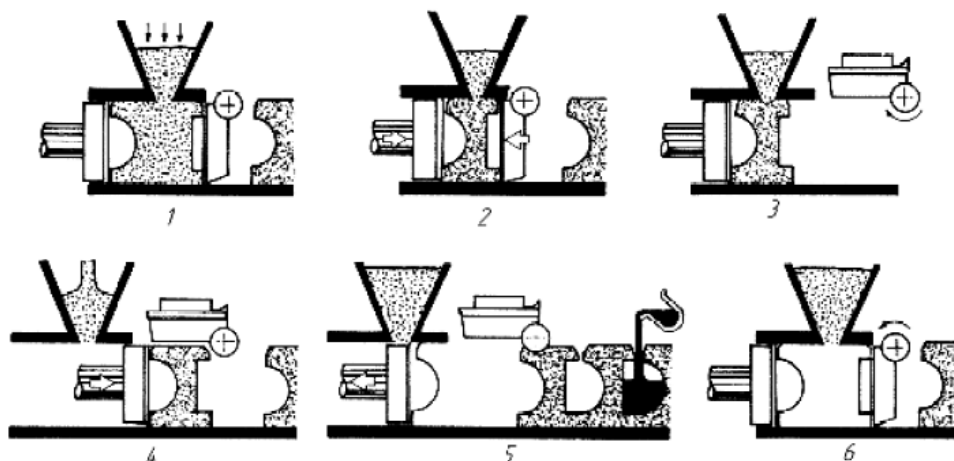


Рис.38.Последовательность операций формовки 1 - надув смеси; 2 - прессование смеси; 3 - отделение поворотной пресс-плиты; 4 - сборка форм и транспортировка стопки форм; 5 - отделение пресс-плиты; 6 - закрывание формовочной камеры

Операции изготовления форм на линии происходят в следующей последовательности:

1. Надув смеси - открывается шибер и с помощью сжатого воздуха смесь вдувается в формовочную камеру. Одновременно могут включаться вибраторы на пресс-плите и на поворотной пресс-плите.

2. Прессование смеси - поворотная пресс-плита и пресс-плита, оснащенные модельными комплектами, движутся навстречу друг другу до достижения заданного давления. Одновременно включаются вибраторы. Давление прессования может регулироваться для получения форм необходимой прочности. Продолжительность прессования может быть увеличена для повышения качества формовки при сложных моделях. При этом происходит выравнивание внутренних напряжений в форме перед вытяжкой модели.

3. Отделение поворотной пресс-плиты - поворотная пресс-плита медленно отделяется от формы и откидывается в горизонтальное положение, от-

крывая формовочную камеру. Во время вытяжки модели могут включаться вибраторы. На этой операции может производиться обдув поверхности формы для удаления лишней смеси. Жесткая конструкция машины и точная вытяжка модели практически исключают разрыв даже при сложных моделях.

4. Сборка форм и транспортировка стопки форм - пресс-плита выталкивает новую форму из камеры. Скорость движения формы непосредственно перед ее сборкой со стопкой замедляется. По достижении необходимого усилия сборки пресс-плита синхронно с автоматическим конвейером форм перемещает всю стопку вперед на величину толщины одной формы.

5. Пресс-плита медленно отделяется и возвращается в исходное положение в формовочной камере. В это же время на обе модельные плиты наносится разделительная жидкость. В процессе отделения могут включаться вибраторы.

6. Закрывание формовочной камеры - поворотная пресс-плита поворачивается вниз и занимает исходное вертикальное положение в формовочной камере. Исходное положение может регулироваться, что позволяет отцентрировать пресс-плиты относительно пескодудной щели. Толщина формы может регулироваться в широких пределах для получения оптимального соотношения между количеством смеси и металла.

Основные характеристики линии 2110 представлены в табл. 8.

Таблица 8

Техническая характеристика линии 2110

Параметр	Норма
Размер форм, мм:	
Высота	400
Ширина	500
Толщина	100-315
Давление прессования, МПа	0-1,2
Максимальная длина конвейера, м	47
Время охлаждения при толщине форм 200 мм и производительности 205 форм/ч, мин	61

**Вакуумный способ изготовления литейных форм.** Вакуумная формовка (V-процесс) имеет ряд преимуществ по сравнению с технологией литья в разовые песчано-глинистые формы: повышение качества отливок; резкое уменьшение расхода исходных материалов; снижение трудоемкости процесса формообразования; отсутствие связующего в формовочном материале. Вакуумирование формы в процессе заливки и охлаждения металла позволяет исключить выделение газов. Что улучшает условия труда, уменьшает загрязнение окружающей среды и способствует сокращению капитальных затрат и эксплуатационных расходов на вентиляцию производственных помещений.

Суть способа и последовательность операций иллюстрируются на рис. 39.

Модельная плита 5 с закрепленной на ней моделью 2 смонтирована на вакуумной камере 1. Полость этой камеры соединена сквозными тонкими каналами 4 с поверхностью плиты и модели.

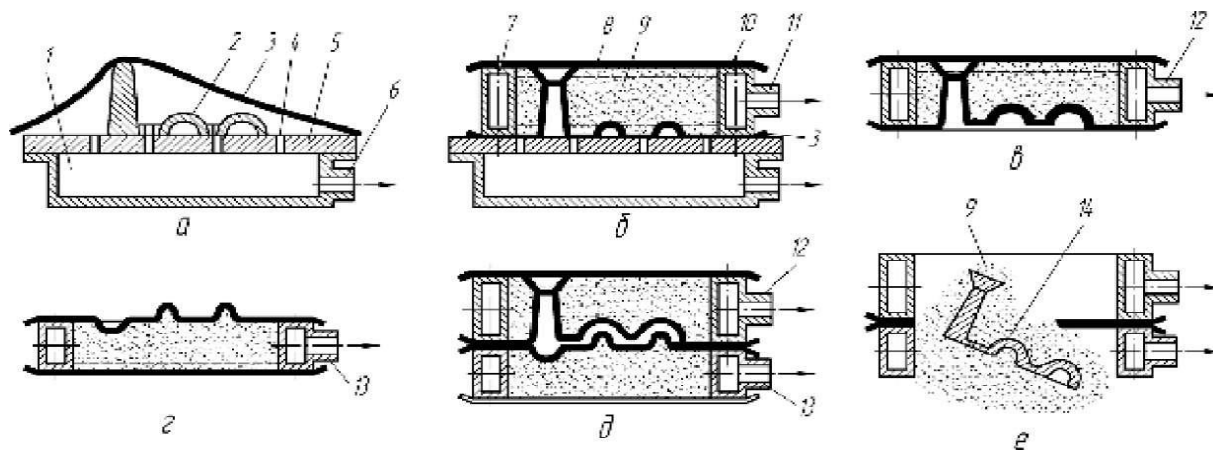


Рис. 39. Последовательность операций при вакуумно-пленочной формовке:

*a* - накладывание пленки на модельную плиту; *б* - изготовление верхней полуформы; *в* - верхняя полуформа; *г* - нижняя полуформа; *д* - форма в сборе;

*е* - выбивка отливки; 1 - вакуумная камера; 2 - модель; 3 - пленка; 4 - отверстие в модельной плите; 5 - модельная плита; 6 - патрубок; 7 - коробчатая опока; 8 - пленка; 9 - наполнитель; 10 - отверстие в опоке;

11, 12, 13 - патрубки; 14 - отливка

Синтетическую пленку 3 толщиной до 0,1 мм с площадью поверхности, равной площади модельной плиты на плане в течение нескольких секунд нагревают до перевода ее в пластическое состояние. Нагретую пленку накладывают сверху на модель и подключают полость камеры 1 через патрубок 6 к вакуумному насосу. Пленка плотно облегает поверхность модельной плиты и модели, точно воспроизводя ее контур.

На модельную плиту с пленкой устанавливают коробчатую опоку 7, внутренняя стенка которой имеет отверстия 10. Опока через патрубок 11 соединена с вакуум-насосом. В нее засыпают огнеупорный наполнитель 9, и модельную плиту вибрируют.

Далее отформовывают литниковую чашу и линейкой укладывают избыток песка из полуформы, выполняя ровный контрлад. На последний накладывают синтетическую пленку 8 (без нагрева) и подключают опоку к вакуумному насосу. Полуформа в результате вакуумирования приобретает необходимую прочность. Для съема полуформ с модельной плиты вакуумную камеру 1 отключают от вакуумного насоса. Верхнюю полуформу соединяют с нижней, которую изготавливают аналогичным способом. В процессе сборки полуформ, заливки металлом и затвердевания отливки опоки подключены к вакуум-насосу. После затвердевания отливки 14 вакуум-насос отключают, и отливка вместе с песком вываливается из опок. Песок после охлаждения вновь используется для формовки. Уплотнение песка производится при вакууме порядка 50 кПа.

На рис. 40 приведена схема линии вакуумной формовки Дисаматик.

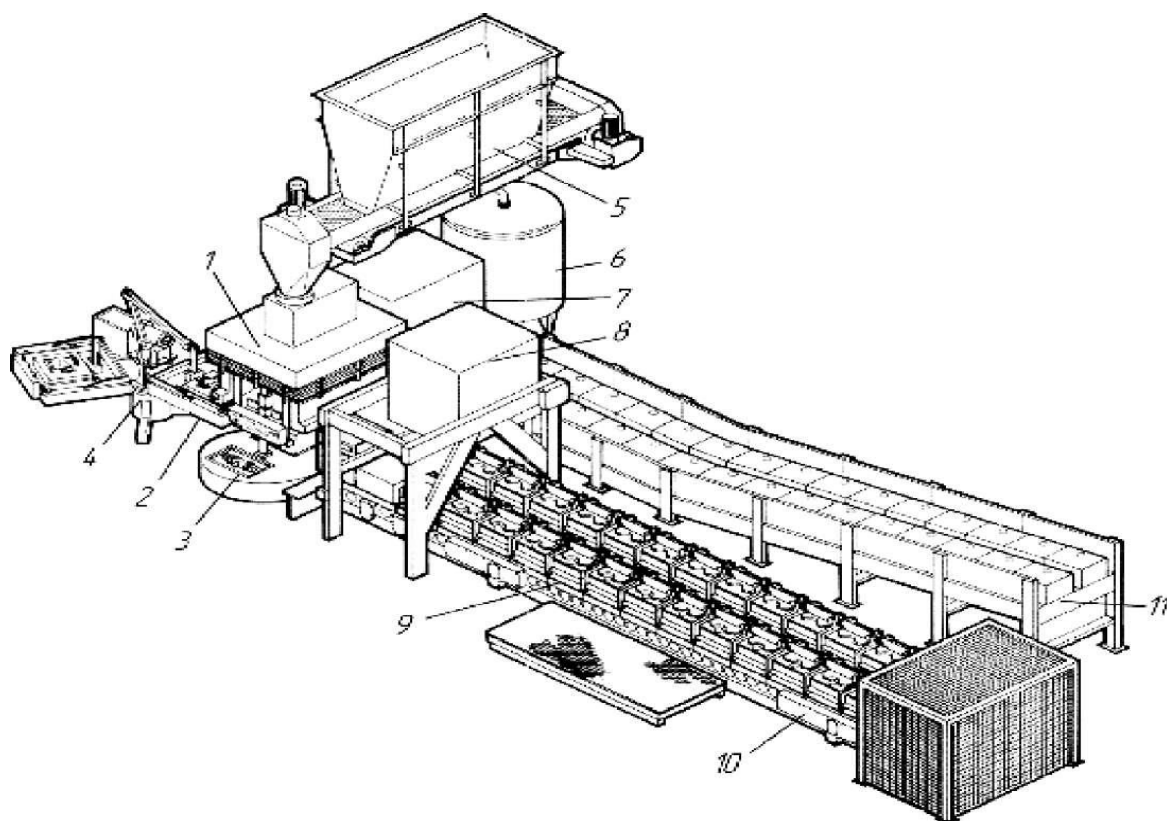


Рис. 40. Схема линии вакуумной формовки Дисаматик:

1 - формовочная машина; 2 - устройство для подачи модельных плит;  
 3 - стержнеукладчик; 4 - устройство для быстрой замены модельных плит; 5 - бункер для песка; 6 - вакуумная установка; 7 - гидравлическая установка; 8 - установка для перемещения поддонов и зажимов; 9 - зона заливки; 10 - линия заливки и охлаждения; 11 - конвейер охлаждения (двухдорожечный)

Технология получения отливок на линии рассчитана на использование как низких, так и высоких моделей, поскольку толщина формы регулируется в зависимости от размера модели. Модель может быть заменена в течение рабочего цикла. В зависимости от производственной необходимости можно изготавливать большие и мелкие партии отливок из любого металла от стали до алюминия. Техническая характеристика линии приведена в табл. 9.

## Техническая характеристика линии вакуумной формовки Дисаматик

Параметр	Норма
Размер форм, мм:	
-длина	720 560
- ширина	130/130
-высота	250/250
Производительность при высоте форм 150/150 мм, форм/ч	165
Расход песка, м <sup>3</sup> /ч	45
Расход воды для охлаждения при 15 °С, л/мин	60
Конвейер форм: минимальная длина линии заливки и охлаждения, м	12
Пластинчатый конвейер для длительного охлаждения отливок в форме: максимальная длина, м	48

**Наполнитель.** Свойства формовочного материала определяют прочность форм и качество поверхности отливки. Главной особенностью формовочных материалов, используемых в вакуумно-пленочной формовке, является отсутствие в них связующего, поэтому огнеупорность формы зависит только от огнеупорности применяемого наполнителя. Прочность формы, полученной при разрезании, в значительной степени зависит от насыпной массы применяемого песка.

В свою очередь насыпная масса зависит от крупности песка, его типа (кварцевые, цирконовые и др.) и формы (угловатый или округлый), а также соотношения крупной и мелкой фракцией (табл. 10).

Таблица 10

## Зависимость насыпной массы песка от соотношения фракций

Размер зерна 0,2 мм, %	100	80	60	40	20	0
Размер зерна 0,05 мм, %	0	20	40	60	80	100
Насыпная масса, кг/м <sup>3</sup>	1500	1700	1700	1600	1420	1230

*Примечание.* Максимальная насыпная масса 1800 кг/м<sup>3</sup> получена при соотношении крупная фракция - мелкая фракция 70:30.

При использовании мелкого песка обеспечивается гладкая поверхность отливки ( $R_z = 18$  мкм), более крупный песок имеет тенденцию к просечке (табл. 11).

Таблица 11

## Влияние зернистости песка на параметры шероховатости отливки

Песок кварцевый с размером песчинок, мм	Значение $R_z$ , мкм, при толщине образца, мм			
	3	6	12	24
0,315	просечка	просечка	просечка	просечка
0,160	то же	то же	то же	то же
0,063	50	50	« «	« «
смешанный	18	18	18	25

*Примечание.* Степень разряжения 47 кПа. Пленка EVA толщиной 0,075 мкм.

## 2.10. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ ИЗГОТОВЛЕНИЯ

### СТЕРЖНЕЙ

**Классификация технологических процессов.** Технологические процессы изготовления стержней делят на две группы. Первая группа включает в себя традиционные процессы, давно применяемые в литейных цехах. Они характеризуются отверждением стержней вне оснастки, как правило, с помощью тепловой сушки.

Вторая группа процессов обеспечивает отверждение стержней непосредственно в оснастке в основном за счет химического или физико-химического упрочнения материалов, входящих в состав стержневых смесей.



Классификация технологических процессов изготовления стержней приведена на рис. 41.

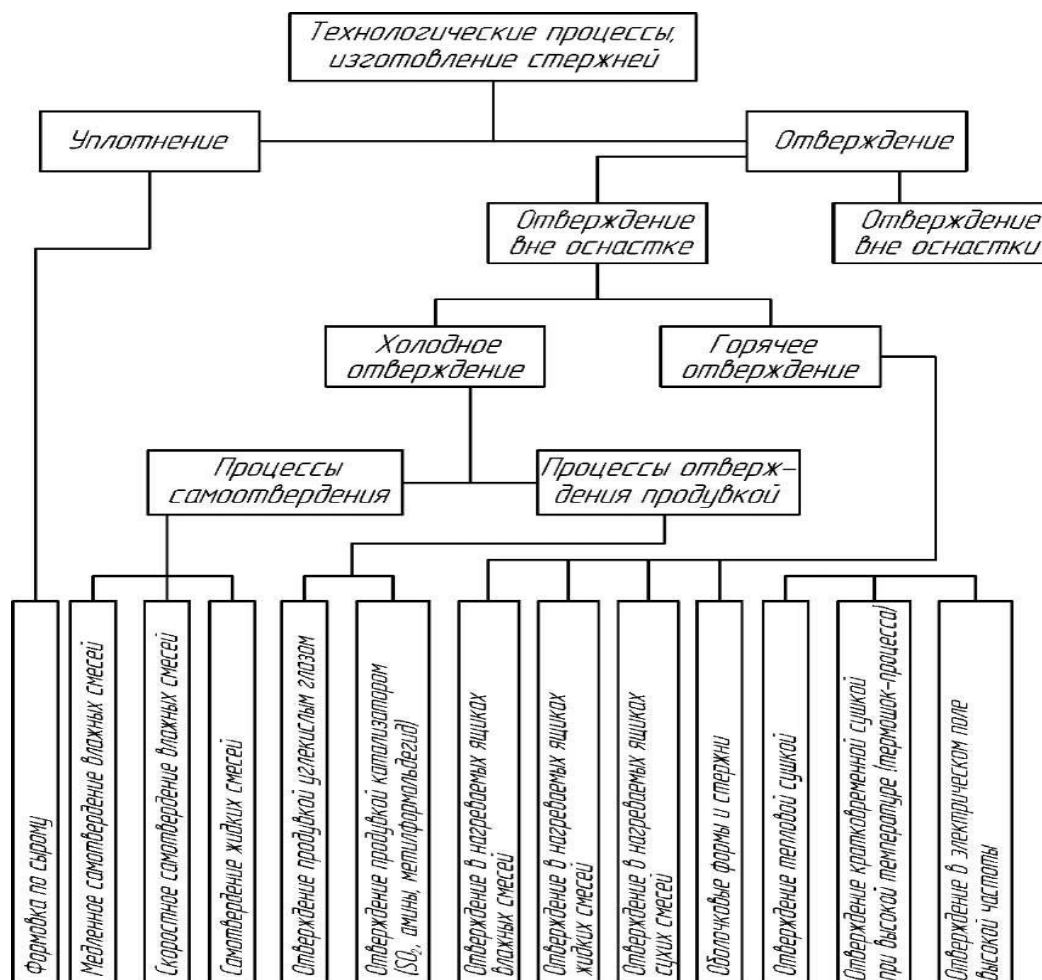


Рис. 41. Классификация технологических процессов изготовления стержней

Каждый технологический процесс имеет свою оптимальную область применения, поэтому выбор оптимального технологического процесса изготовления стержней представляет собой сложную задачу и связан с глубоким техническим и экономическим анализом большого числа факторов.

Все процессы изготовления стержней включают в себя различные технологические (рис. 42), транспортные и вспомогательные операции, из которых часть операций характерна для всех технологических процессов, а часть специфична для отдельных вариантов технологических процессов изготовления стержней.

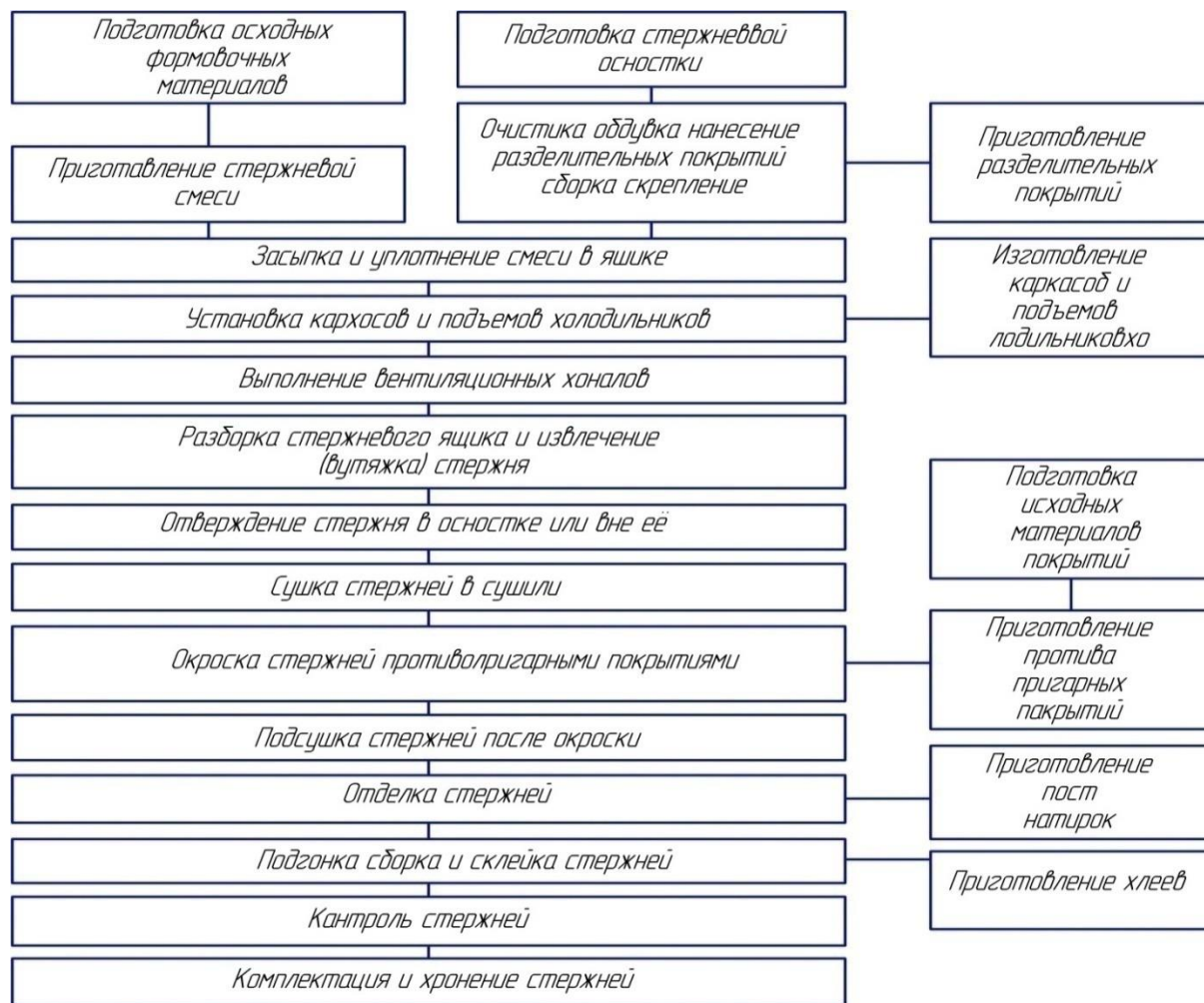


Рис. 42. Технологические операции при изготовлении стержней

**Уплотнение стержневой смеси.** Необходимая прочность стержней достигается уплотнением смеси в стержневом ящике. Чем больше уплотняющее воздействие, тем выше прочность стержней в сыром состоянии. Особенное значение степень уплотнения стержней приобретает при использовании традиционных технологических процессов изготовления стержней: В этом случае прочность стержней в сыром состоянии должна быть достаточной для того, чтобы при транспортировке и сушке стержни не деформировались и не разрушались. При недостаточном и неравномерном уплотнении снижается прочность всего стержня или его отдельных мест, образуются пористые, рыхлые участки, в результате чего ухудшается качество поверхности отливки, образуются пригар и песчаные раковины.

Неравномерность уплотнения стержней может привести также к их растрескиванию во время сушки в результате возникающих при этом термических напряжений. С другой стороны, нельзя переуплотнять стержни, так как могут значительно уменьшиться податливость стержней и их газопроницаемость, что повышает опасность появления горячих трещин и газовых раковин в отливках. Степень уплотнения смеси характеризуется ее плотностью. Насыпная плотность стержневой смеси составляет 900-1100 кг/см<sup>3</sup>, а после уплотнения 1450-1650 кг/см<sup>3</sup>.

Уплотнение стержневой смеси в ящиках производят вручную, вибрацией, встряхиванием, прессованием, пескометным, пескодувным и другими способами.

**Ручное уплотнение стержней.** Уплотнение смеси производят плоской ручной трамбовкой, с помощью клиновидной набойки, пневматической трамбовкой с плоским или клиновидным наконечником, ладонью.

Последовательность основных операций при изготовлении стержней вручную в стержневых ящиках:

- в вытряхном ящике с вкладышем (рис. 43): устанавливают вкладыши и обдувают рабочую полость ящика; ящик наполняют смесью, которую уплотняют трамбовками или набойками; выбивают каркасы и производят проколку вентиляционных каналов; на ящик укладывают сушильную плиту и весь комплект переворачивают; снимают ящик и вынимают вкладыши;

- в ящике с плоским вертикальным разъемом (рис. 44): скрепляют половинки ящика; обдувают и опрыскивают рабочую полость ящика; ящик наполняют стержневой смесью и уплотняют ее; вбивают каркасы и накалывают вентиляционные каналы; разбирают ящик и извлекают стержень.

Вручную изготавливают стержни в ящиках с криволинейным разъемом, в ящике из двух половин, по шаблону с вертикальной и горизонтальной осью; по протяжному шаблону, по модели. Ручное изготовление стержней

применяется при единичном и мелкосерийном производстве не сложных конфигураций.

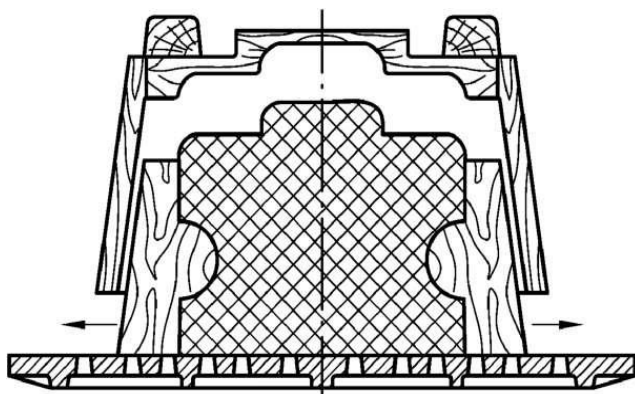


Рис. 43. Вытряхной стержневой ящик с вкладышем

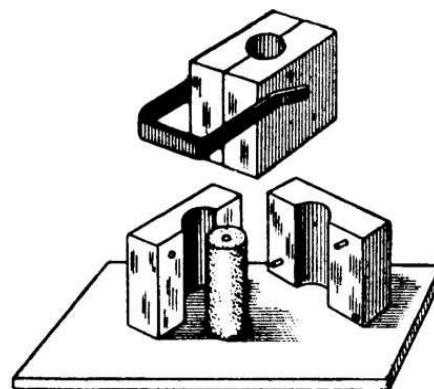


Рис. 44. Стержневой ящик с плоским вертикальным разъемом

Степень уплотнения смеси зависит от числа ударов, массы трамбовки, усилия, прикладываемого к трамбовке, а также от текучести и прочности смеси в сыром состоянии и высоты уплотняемого слоя. Для оценки плотности стержней используют измерение их поверхностной твердости твердомером. Из практики ясно, что плотности  $1550 \text{ кг/см}^3$  соответствует ориентировочно твердость стержня, равная 80 ед. (твердость стержня, равная 80 ед., является максимальной для средних и крупных стержней; для мелких стержней допускаемая твердость равна 50-60 ед.).

**Уплотнение стержневой смеси встряхиванием** осуществляется на встряхивающих машинах последовательными ударами заполненного смесью стержневого ящика о станину машины (рис. 45). Высота подъема стола машины достигает 50-100 мм. После каждого удара стержневая смесь под действием сил инерции перемещается вниз. Чем больше масса вышележащих слоев смеси, тем выше степень уплотнения стержня. Самые верхние слои смеси при встряхивании не уплотняются, поэтому их обычно доуплотняют ручными пневматическими трамбовками, специальными прессовыми плитами или динамической подпрессовкой, заключающейся в наложении груза на

поверхность стержня при встряхивании. В ряде случаев на стержневой ящик устанавливают наполнительную рамку, в которой после уплотнения остается избыточный слой смеси. Наполнительную рамку после встряхивания снимают, а избыточный слой смеси срезают.

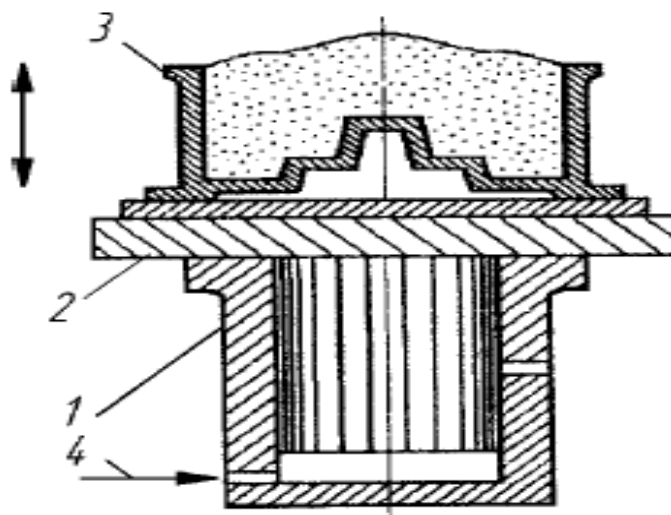


Рис.45.Схема уплотнения стержня на встряхивающей машине:

1 - встряхивающий механизм; 2 - стол; 3 - стержневой ящик; 4 - подача сжатого воздуха

Степень уплотнения смеси при встряхивании зависит от физико-механических свойств стержневой смеси, высоты подъема встряхивающего стола и числа встряхиваний. Этот метод является наиболее распространенным при использовании традиционных технологических процессов изготовления стержней. Наибольшее распространение он получил при единичном и мелкосерийном производстве отливок благодаря своей универсальности и использованию дешевой деревянной стержневой оснастки.

**Уплотнение смеси вибрацией.** Есть два варианта осуществления вибрации: с вертикально и горизонтально направленными колебаниями. В качестве возбудителей вибрации используют электро- или пневмовибраторы, которые сообщают стержневому ящику со смесью принудительные колебания с частотой от 1000 до 3000 колебаний в минуту и амплитудой от 0,2 до 1,0 мм.

Для амортизации ударов применяют пружины или пневмобаллоны. Наиболее уплотненными оказываются нижние слои смеси. Верхние рыхлые слои смеси доуплотняют вручную или срезают (при использовании наполнительной рамки).

**Уплотнение смеси прессованием** осуществляется на прессовых машинах. Этот способ применяют в основном для получения мелких и средних стержней небольшой высоты простой конфигурации. Стержневой ящик с предварительно установленной на него наполнительной рамкой заполняют смесью, после чего уплотняют смесь усилием прессовой колодки.

**Сушка стержней.** Сушка стержней производится с целью обеспечения необходимой прочности, улучшения газопроницаемости и снижения их газотворности при заливке формы металлом. При наличии в стержневой смеси связующих прочность стержней при сушке повышается в результате высыхания пленок связующего вещества, что вызывает более прочную связь между отдельными частицами стержневой смеси.

Улучшение газопроницаемости стержней после сушки объясняется испарением влаги и возгонкой органических добавок, содержащихся в стержневой смеси.

Температура и режим сушки определяются составом стержневой смеси и размерами стержней. Мелкие стержни, в состав которых входят связующие различного рода, сушат при температуре 150-240 °С, а песчано-глинистые стержни таких же размеров сушат при более высокой температуре (до 250 °С). Время сушки составляет 1-3 ч. Крупные песчано-глинистые стержни сушат при температуре 350-450 °С более продолжительное время (до 6 ч и более).

Характеристика основных способов сушки стержней приведена в табл. 12.

## Способы сушки стержней

Источник тепла	Описание способа сушки	Область применения
Сушка горячими газами	В стационарных и переносных сушилах с естественной и принудительной циркуляцией горячих газов	Поверхностная и сквозная сушка форм и стержней (глубина сушки 15-20 мм/ч)
Сушка тепло - излучением	Инфракрасными лучами специальных ламп	Поверхностная сушка форм или сквозная просушка мелких стержней (на глубину 15-20 мм за 20-30 мин)
Химическая сушка	Обдуванием струей углекислого газа поверхности формы или стержня. Сквозная продувка CO <sub>2</sub> стержней	Поверхностная сушка форм и стержней из жидкостекольных смесей (на глубину 15- 20 мм за 20 мин); сквозная сушка стержней
Сушка токами высокой частоты	За счет выделения тепла переменного магнитного поля ТВЧ	Сквозная сушка стержней с высокой скоростью (15-20 мм за 2-3 мин)
Сушка стержней в нагреваемой оснастке	За счет теплопередачи от поверхностей разогретого стержневого ящика	Применяется при изготовлении стержней из специальной стержневой смеси на связующих из термореактивных смол

***Изготовление стержней в нагреваемой оснастке (ГТС-процесс).***

Метод изготовления стержней с отверждением непосредственно в стержневых ящиках основан на применении смесей, затвердевающих в течение нескольких секунд под действием тепла нагретых стержневых ящиков.

Этот процесс нашел применение в условиях массового и крупносерийного производства. Сущность его состоит в том, что стержневая смесь специального состава вдвигается пескодувным или пескострельным способом в

предварительно разогретый до 150-300 °С стержневой ящик. В результате теплопередачи от поверхностей горячего стержневого ящика уплотненная стержневая смесь прогревается и затвердевает.

***Изготовление стержней из быстротвердеющих смесей на жидком стекле (СО<sub>2</sub>-процесс).*** Сушка стержней из этих смесей производится методом химического твердения путем продувки углекислым газом непосредственно в стержневых ящиках. Продувка должна обеспечивать прохождение углекислого газа по всему объему стержня.

***Изготовление стержней из жидких самотвердеющих смесей (ЖСС).*** ЖСС - это смеси, приготовленные на основе обычных стержневых материалов с добавкой некоторых компонентов, применяются и для изготовления стержней. Подбор необходимых составляющих значительно улучшает выбиваемость стержней.

Использование ЖСС позволяет заменить трудоемкую операцию уплотнения стержневых смесей, так как смесь в сметанообразном состоянии заполняет внутренние полости стержневых ящиков любой формы и размеров. Заливка ЖСС в стержневые ящики приводит к резкому сокращению цикла изготовления стержней, снижает трудоемкость и повышает производительность труда.

***Изготовление стержней из холоднотвердеющих смесей (ХТС-процесс).*** Этот процесс основан на том, что в состав стержневой смеси вводятся в определенной пропорции синтетические материалы типа смол, которые способны затвердевать в присутствии катализаторов при комнатной температуре. В качестве связующих для ХТС применяют связующее с фуриловым спиртом, карбаминофурановые смолы и др. Катализатором обычно является ортофосфорная кислота.

Уплотнение смеси в стержневом ящике производится встряхиванием, пескострельным или пескометным способом. Отверждение стержней происходит в стержневом ящике в течение нескольких минут.



## **2.11.ОПЕРАЦИИ, ВЫПОЛНЯЕМЫЕ ПРИ СБОРКЕ, ЗАЛИВКЕ И ОХЛАЖДЕНИИ ФОРМ**

*Сборка форм.* Тщательность сборки в значительной мере определяет точность геометрических размеров отливки, образование заливов и трудоемкость обрубки.

Сборку начинают с установки нижней полуформы на заливочную площадку или тележку конвейера. Затем из полости полуформы сжатым воздухом выдувают сор и пыль, попавшие при извлечении модели и ремонте полуформы. В чистую полость полуформы в определенной последовательности устанавливают стержни. Устойчивое положение стержней в форме обеспечивается знаками, однако в ряде случаев используют специальные металлические подставки - жеребейки.

Перед сборкой контролируют качество полуформ. Проверяют плоскости, кромки, плоскости разъема формы, четкость конфигурации выступов, бобышек, поднутрений, галтелей. Непрокрашенные или залитые краской места не допускаются. Мелкие формы контролируют выборочно, крупные и средние подлежат 100 %-ному контролю.

Не допускаются к сборке полуформы без вентиляционных каналов с большими трещинами, разрушенными отдельными частями, с недостаточной плотностью смеси.

Перед сборкой форм контролируют внешний вид доставленных стержней, их температуру. Она должна быть не выше 100 °С. Сборщик форм должен контролировать качество стержней постоянно, мастер - 2-3 раза в смену. Остаточную влажность стержней контролируют так же, как и форм, если продолжительность хранения превышает 48 ч. Пыль с поверхностей удаляют сжатым воздухом. Неокрашенные поверхности подкрашивают и просушивают газовой горелкой. Вентиляционные каналы и подъемы, забитые смесью, расчищают.

В массовом производстве отливок со сложными внутренними плоскостями, когда в форму необходимо устанавливать большое число стержней,

находит применение способ предварительной сборки стержней. Их устанавливают в специальном кондукторе, закрепляют пневматическими зажимами. Собранный таким образом комплект стержней по направляющим штырям устанавливают в форму. В полости формы стержни фиксируются уже своими знаками, пневматические зажимы освобождаются и кондуктор снимают с опоки.

После установки стержней визуально контролируют заделку доступных стыков между ними и формой. Необходимо проверять качество заделки мест расположения подъемов стержней. Все места заделок подсушивают. В крупных стержнях подъемы заклеивают сухим стержнем.

Затем проверяют все элементы литниковой системы, устанавливают фильтровальные сетки, очищают от загрязнений выпоры. После этого нижнюю полуформу накрывают верхней. Точность совмещения нижней и верхней полуформ обеспечивается стационарными или съемными контрольными штырями.

Сборка завершается загрузкой формы, исключая всплывание ее верхних элементов при заливке жидким сплавом.

На собранную форму необходимо наложить груз, вес которого должен превышать усилие, создаваемое жидким металлом и стремящееся приподнять верхнюю половину формы. В среднем величина этого груза в 4-5 раз превышает вес отливки, но при наличии стержней может быть значительно большим. Вместо груза опоки можно скреплять скобами, болтами и струбцинами (рис. 46).

Сборка форм должна производиться согласованно с работой участка заливки форм жидким металлом. Дело в том, что длительный промежуток времени от сборки до заливки может привести к увлажнению стержней или осыпанию материала формы, а это вызовет брак отливок. Предельная длительность промежутка времени между сборкой форм и заливкой их металлом: для сырых форм - 6 ч, поверхностно-подсушенных - 18 ч, для сухих - 36 ч

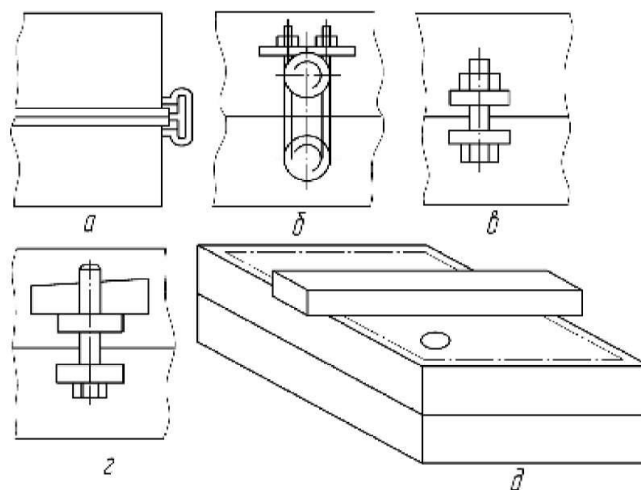


Рис. 46. Способы крепления полуформ:

*a* – скобками; *б* – струбцинами; *в* – болтами; *г* – клиньями;  
*д* – установкой груза

**Расчет массы груза для форм.** При заливке расплавленный металл создает давление на стенки формы. Верхняя полуформа, если масса ее недостаточна, может быть поднята, что приведет к утечке металла и образованию неисправимого брака отливки.

Массу груза для формы можно определить из следующих уравнений:

для форм без стержней

$$P_{гр} = k_{зап} \cdot [H_{в.ф} \cdot (F_{отл} + F_{лит}) \cdot \gamma_m - g] \quad (1)$$

Для форм со стержнями

$$P_{гр.ст} = k_{зап} \cdot [H_{в.ф} \cdot (F_{отл} + F_{лит}) \cdot \gamma_m + (\gamma_m - \gamma_{ст}) \cdot V_{ст} - g], \quad (2)$$

где  $k_{зап}$  - коэффициент запаса, учитывающий гидравлический удар

$k_{зап} = 2-4$ ;  $H_{в.ф}$  - высота верхней полуформы;  $F_{отл}$  - площадь горизонтальной проекции отливки на плоскость разъема;  $F_{лит}$  - площадь литниковой системы в разъеме формы;  $\gamma_m$ ,  $\gamma_{ст}$  - плотность металла и стержней;  $V_{ст}$  - объем стержня без знака;  $g$  - масса верхней полуформы.

Крупные формы необходимо нагружать грузом очень большой массы. Под действием такого груза форма может быть разрушена. Поэтому ее нагружают так называемым «ложным грузом», который опирается не на форму, а на стальные балки, расположенные вне формы.

**Литейные ковши** - это емкости, металлический кожух которых изнутри футерован огнеупорным материалом. Ковши предназначены для кратковременного хранения и транспортирования жидкого металла, а также для заливки его в литейную форму. В ковшах осуществляют и ряд металлургических операций: рафинирование, модифицирование и легирование.

Литейные ковши классифицируют по способу регулирования расхода металла при разливке, по геометрии рабочей полости и способу транспортирования.

По способу регулирования расхода металла при разливке различают поворотные и стопорные ковши. Из поворотных ковшей (рис. 47, а) расплав разливают в формы через сливной носок 1, расход металла регулируют поворотом ковша вокруг горизонтальной оси. Наклоняют их с помощью ручных рычажных систем или самотормозящихся червячных механизмов 3, приводимых в действие от ручного штурвала 2 или электродвигателя. При разливке из поворотных ковшей возможен слив вместе с металлом шлака и попадание его в полость формы. Во избежание этого в ковшах устанавливают перегородки или керамические трубки, обеспечивающие поступление чистого металла из нижних уровней. Такие ковши называют чайниковыми.

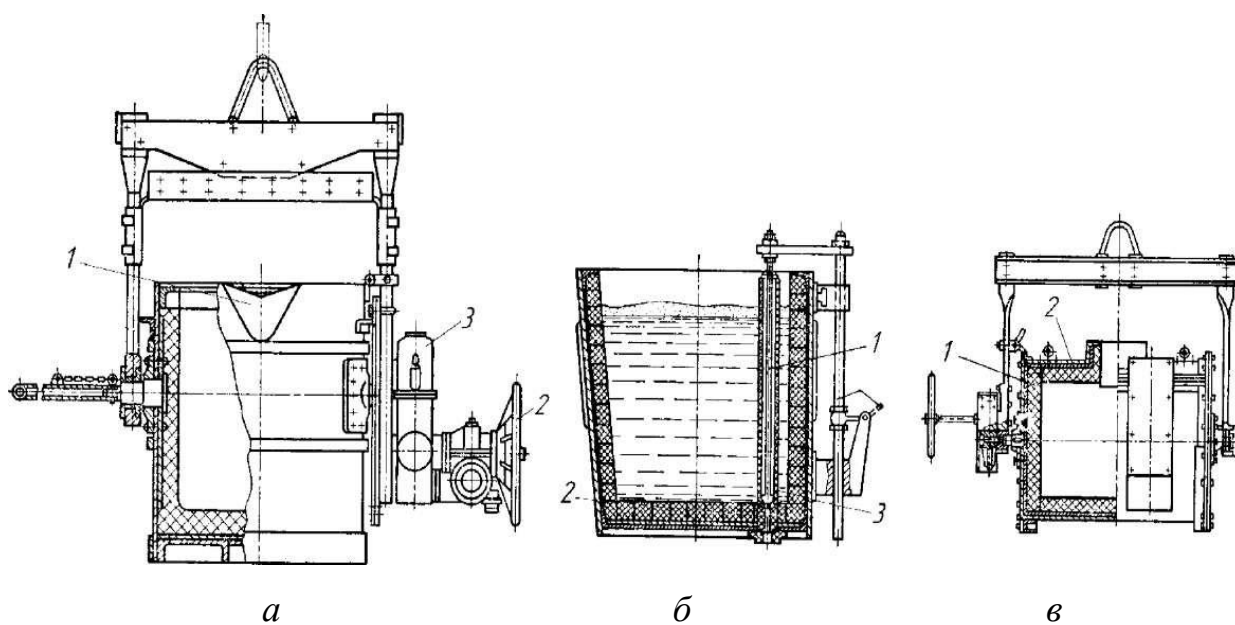


Рис. 47. Литейные ковши

Из стопорных ковшей (рис. 47,б) расплав разливают через отверстие огнеупорного стакана 2, размещенного в днище ковша. Отверстие открывают и перекрывают с помощью стопора - стального штока с пробкой 1 на конце, футерованного керамическими трубками 3 и жестко связанного с механизмом его подъема и опускания. Ковши вместимостью 1-6 т оборудованы одним стопором, более вместительные - двумя стопорами. Стопорные ковши чаще используют при получении стальных отливок, реже - крупных чугуновых.

По геометрии рабочей полости литейные ковши подразделяют на конические и барабанные. Конические ковши имеют форму усеченного конуса, уширенного кверху, и могут быть поворотными (рис. 47, а) и стопорными (рис. 47,б). Барабанный ковш является поворотным и представляет собой горизонтальный цилиндр 1, диаметр рабочей полости которого равен длине (рис. 47,в). Он имеет небольшую горловину 2 для заполнения расплавом и разливки. Поэтому в нем расплав остывает медленнее. Относительно малая высота ковшей обеспечивает удобство заливки форм. Но их труднее футеровать. Наиболее широко барабанные ковши применяют для разливки чугуна, значительно реже - для разливки стали и бронзы.

По способу транспортирования различают ручные, монорельсовые и крановые ковши. Вместимость ручных ковшей составляет 6-60 кг, монорельсовых - 100-800 кг, крановых 1-70 т. Ручные ковши являются поворотными коническими. Их применяют при производстве мелких отливок (при металлоемкости формы до 30 кг) в условиях единичного и мелкосерийного производства. Из монорельсовых ковшей, которые могут быть поворотными коническими и барабанными, заливают формы на конвейерах при производстве мелких и средних отливок.

Крановые ковши (конические и барабанные, поворотные и стопорные) применяют в единичном и серийном производстве отливок из чугуна, стали и сплавов цветных металлов.

Основным фактором, определяющим размеры ковшей, является металлоемкость форм. Так, для разливки чугуна рекомендуют применять ковши вместимостью, в 2-10 раз превышающей металлоемкость формы. При производстве мелкого стального литья применяют конические ковши с перегородками (чайниковые) вместимостью до 800 кг.

Ручные и монорельсовые ковши вместимостью до 500 кг футеруют огнеупорным составом из 75 % кварцевого песка и 25 % огнеупорной глины. Кварцевый песок на 2/3 может быть заменен шамотным порошком. Крановые конические и барабанные ковши, а также монорельсовые ковши для разливки чугуна вместимостью более 500 кг футеруют шамотным кирпичом. Кладку футеровки проводят с использованием увлажненной огнеупорной массы из наполнителя, идентичного или близкого по природе футеровочному кирпичу, и огнеупорной глины. При футеровке носка вместо огнеупорной глины применяют жидкое стекло. Футеровку стенок рекомендуется выполнять толщиной  $0,14R$ , а днища - толщиной  $0,2R$ , где  $R$  - внутренний радиус ковша у верхней кромки.

После футеровки ковши сушат, а перед наполнением расплавом разогревают до 700-1000 °С для полного удаления свободной и связанной влаги, а также снижения потерь теплоты заливаемого сплава.

## **2.12. ТЕХНОЛОГИЯ ЗАЛИВКИ ФОРМ. ОХЛАЖДЕНИЕ ОТЛИВОК**

**Заливка форм.** Заливка представляет собой процесс заполнения литейной формы жидким сплавом. Ниже приведено краткое описание способов заливки.

1. Свободная - заполнение жидким сплавом неподвижной формы без каких-либо воздействий на расплав в различном устройстве, струе или при затвердевании.

2. Непрерывная - свободная заливка в неподвижную форму в условиях непрерывного вытягивания из нее затвердевающей части отливки при непрерывном дополнении жидкого сплава из разливочного устройства.

3. Намораживанием - через нормированное время после заливки сплава в форму, когда затвердеет определенная часть отливки, жидкая часть сливается; образуется отливка с полостью.

4. Центробежная - свободная заливка во вращающуюся форму. Сплав, соприкасаясь с формой, вовлекается во вращательное движение. В процессе затвердевания на отливку действует центробежная сила.

5. Совмещенная - в процессе формирования отливки подвижная часть формы деформирует ее твердую часть и выжимает жидкую.

6. Под давлением - сплав из разливочного устройства поступает в форму под поршневым или пневматическим давлением.

7. Наплавка (литье, совмещенное со сваркой) - источником жидкого сплава служит электрод, конец которого погружен в слой перегретого шлака, находящийся на поверхности формирующейся отливки. В системе протекает электрический ток, вызывающий дуговой разряд между шлаком и плавящимся электродом.

8. Распылением - струя сплава, вытекающая из разливочного устройства, разбрызгивается на малые объемы, которые под действием поверхностного натяжения приобретают сфероидальную форму.

При свободной заливке форм расплав заливают в предварительно собранные формы. Их обычно устанавливают таким образом, чтобы поверхность разъема была расположена горизонтально, реже вертикально или наклонно. На плацу, в кессонах, на накопительных рольгангах жидкий металл заливают в неподвижные формы.

Автоматические заливочно-дозировочные устройства одновременно выполняют операции дозирования и заливки. По принципу действия их подразделяют на электромеханические, пневматические, электромагнитные и комбинированные. В электромеханических устройствах для дозирования и выдачи металла используют наклоняющиеся ковши секторного (рис. 48, а), барабанного или чайникового типа, а также ковши со стопорной (рис. 48, б) и шиберной выдачей металла.

В пневматических подающих устройствах дозу расплава вытесняют из емкости сжатым воздухом или инертным газом (рис. 48, в). Расход металла регулируют изменением давления газа, а требуемую порцию дозируют по времени или по массе. В комбинированном пневмостопорном устройстве (рис. 48, г) используется принцип вытеснения расплава газом и стопорной выдачи металла.

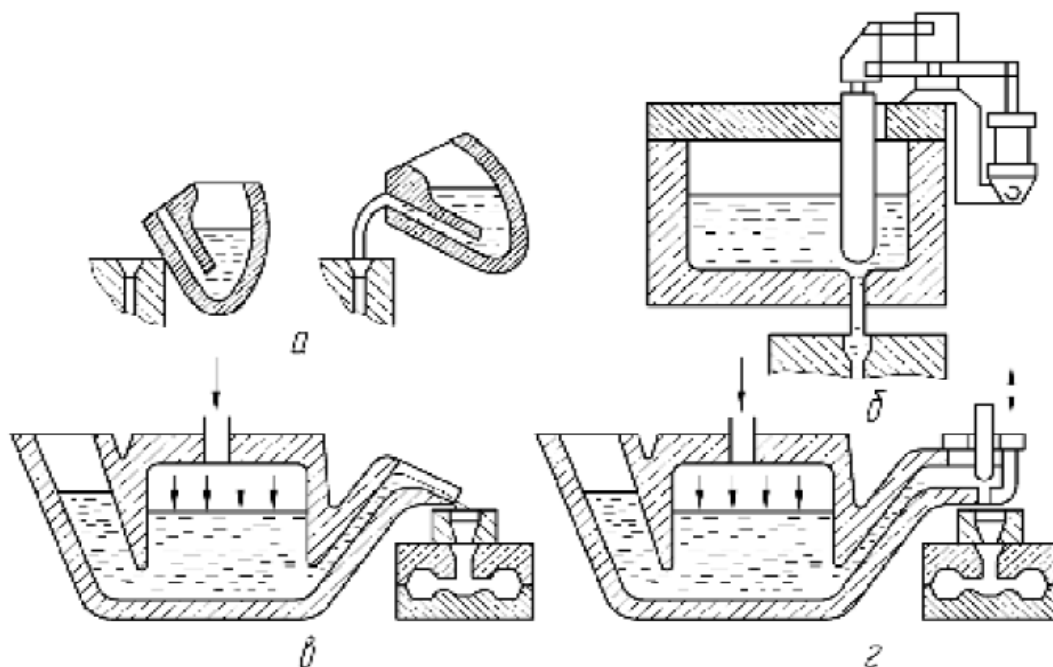


Рис. 48. Заливочно-дозировочные устройства

В пневматических подающих устройствах дозу расплава вытесняют из емкости сжатым воздухом или инертным газом (рис. 48, в). Расход металла регулируют изменением давления газа, а требуемую порцию дозируют по времени или по массе. В комбинированном пневмостопорном устройстве (рис. 48, г) используется принцип вытеснения расплава газом и стопорной выдачи металла.

В электромагнитных подающих устройствах слив металла осуществляют с помощью бегущего электромагнитного поля или магнитодинамического насоса МДН (рис. 49).



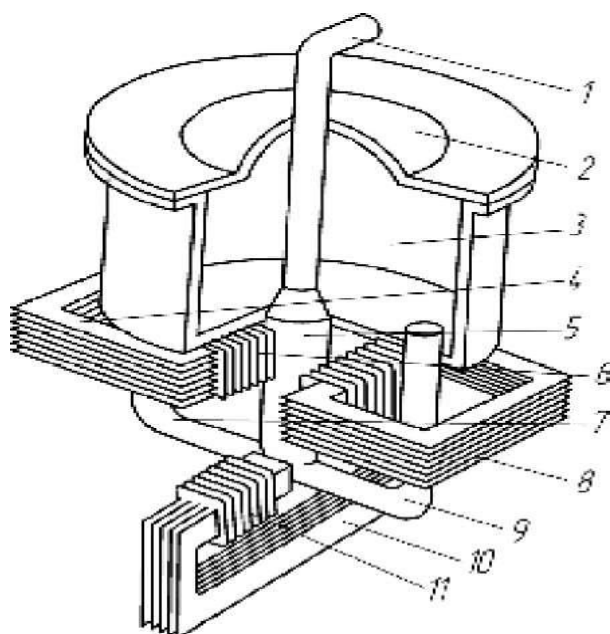


Рис. 49. Установка с магнитодинамическим насосом

Установка с МДН состоит из тигля 3 с крышкой 2. Тигель сообщен со сливным каналом через два боковых вертикальных и горизонтальных канала. Боковые каналы 7 и 9 охвачены индукторами 4 и 8 с обмотками 6. Участок соединения трех каналов расположен в межполюсном зазоре электромагнита 10 с обмотками 11. При включении обмоток индукторов в сеть по металлу идет ток, который, воздействуя с внешним магнитным полем, создает электромагнитные силы, оказывающие силовое воздействие на расплав.

При включении индукторов в режим насоса, а электромагнита - в режим нагнетания электромагнитные силы выталкивают расплав по каналу 5 в металлопровод 1, и он выливается в форму. Раздельное управление электромагнитными системами позволяет регулировать как скорость заливки, так и температуру металла. Дозирование осуществляют по времени разливки, объему или массе.

В формы металл заливают короткой струей, не допуская ее разрыва и разбрызгивания. Начальную порцию расплава из ковша или заливочного устройства в форму сливают слабой струей, затем мощность струи увеличивают с целью быстрого заполнения литниковой чаши или воронки. В дальнейшем

расход металла выбирают таким, чтобы он был достаточным для поддержания уровня металла в чаше. При этом режим заполнения полости формы расплавом регулируется статическим напором заливаемого металла и соответствующими размерами элементов литниковой системы. Заливку прекращают при появлении расплава в выпоре или после заполнения прибыли.

Температуру заливки конкретного литейного сплава определяют по его перегреву относительно температуры ликвидуса. Выбор перегрева зависит от его влияния на структуру и механические свойства сплава, толщины (минимальной, преобладающей) и протяженности стенок отливки, склонности сплава к пленообразованию, теплофизических свойств материала формы и ее начальной температуры.

**Температурный режим заливки.** При повышении температуры стали возрастает ее жидкотекучесть, что имеет практическое значение при заливке тонкостенных отливок.

Чем выше температура заливки металла, тем лучше концентрируется усадочная раковина и пористость в прибыли, уменьшаются газовые и неметаллические включения, что обеспечивает более высокие механические свойства отливок.

При пониженных температурах снижается объем усадочной раковины и уменьшается пригар. Это может быть использовано при создании таких условий заливки, когда металл в прибыли будет иметь более высокую температуру, чем сама отливка.

Замер температуры стали производится термопарой погружения перед выпуском и после выпуска из печи.

Рекомендуемые температуры заливки стали приведены в табл. 13. Формы, изготовленные на хромомagneзите или хромистом железняке, заливать сталью с температурой на 15-20 °С выше указанной в табл. 13 [6].

Таблица 13

## Температура стали при заливке в песчаные формы

Группы отливок	Толщина стенок отливки, мм	Масса отливки, кг	Температура заливки форм по термопаре погружения, град.		
			стали углеродистые 25Л, 35Л, 45Л	сталь 110Г13Л	сталь 75Х28Л
Сложные тонкостенные, в том числе склонные к трещинам	6-20	до 100	1580-1540	1450-1430	1640-1610
			1560-1540	1440-1430	1630-1610
	12-25	до 500	1550-1520	1440-1420	1630-1600
			1530-1520	1430-1420	1610-1600
	20-30	до 3000	1540-1520	1440-1420	1530-1510
			1520-1530	1430-1420	1520-1510
Фасонные среднего развеса, в том числе склонные к трещинам	30-75	до 5000	1550-1520	1440-1420	1590-1565
			1520-1530	1430-1420	1570-1565
Фасонные тяжелого веса, в том числе склонные к трещинам	75-150	свыше 5000 до 25000	1540-1520	-	-
			1530-1520	-	-
Массивные отливки простейшей конструкции	150-500	свыше 10000 до 25000	1520-1500	-	-
			свыше 500	свыше 25000	1510-1500

**Выдержка стали в ковше.** После выпуска из печи сталь выдерживается в ковше в течение 10-15 мин. Во время выдержки металла в ковше

происходят всплывание неметаллических включений, выделение значительного количества растворенных газов, выравнивание температуры по объему ковша.

Средняя скорость охлаждения стали в ковшах различной емкости приведена в табл. 14 [6].

Таблица 14

Средняя скорость охлаждения стали в ковшах

Емкость ковша, т	Средняя скорость охлаждения металла, град/мин
0,15	25-60
0,50	12-25
0,70	9-25
1,00	7-20
3,00	5-15
4,50	5-12
6,00	5-10
12,00	3-6
15,00	2-4

**Температура заливки чугуна.** Заливку форм следует вести с полным заполнением литниковой чаши или воронки, не допуская перерыва в заполнении формы и понижения уровня металла в стояке.

Высота струи от носика ковша до чаши или воронки не должна быть более 150-200 мм. Для предупреждения попадания шлака в форму необходимо перед заливкой удалять основную часть шлака с поверхности чугуна. При заливке средних и крупных форм целесообразно применение пробок. Рекомендуемые температуры заливки чугуна в песчаные формы приведены в табл. 15.

Таблица 15

## Температура чугуна при заливке в песчаные формы

Группа отливок	Толщина стенок, мм	Температура заливки, °С	
		по термопаре	по пирометру
Отливки из серого и высокопрочного чугуна	до 4	1450-1360	1340-1330
	4-10	1430-1340	1340-1310
	10-20	1400-1320	-
	20-50	1380-1300	-
	50-100	1340-1230	-
	100-150	1300-1200	1220-1180
Отливки из ковкого чугуна	до 4	1480-1380	-
	4-10	1450-1360	-
	10-20	1430-1350	-
Отливки из отбеленного чугуна, колеса с отбеленным ободом	-	1320-1300	-
Отливки из высокохромистых чугунов	-	1400-1340	1340-1280
Отливки из жаропрочных чугунов	-	1340-1320	1300-1270

**Выдержка чугуна в ковше.** При выдержке чугуна в ковше происходит выравнивание и падение температуры. Средняя скорость падения температуры приведена в табл. 16.

Таблица 16

## Средняя скорость охлаждения чугуна в ковшах

Емкость ковша, т	Средняя скорость охлаждения металла, град/мин
0,05	15-40
0,3	10-20
1-2	5-10
2-4	2-5

**Температура заливки отливок из цветных сплавов.** Цветные сплавы имеют склонность к поглощению газов и окислению, поэтому при заливке форм необходимо поддерживать небольшую высоту струи, не допуская разбрызгивания. Рекомендуемые температуры заливки цветных сплавов приведены в табл. 17.

Таблица 17

Температура металла при заливке

Сплав	Толщина стенок, мм	Температура выпуска из печи, °С	Температура заливки, °С
Алюминиевое литье (типа силумин)	до 10	730-750	710-730
	10-20	710-730	700-710
	свыше 20	700-710	690-700
Оловянная и фосфористая бронзы	до 10	1150-1200	1100-1150
	10-20	1100-1150	1050-1100
	свыше 20	1060-1100	1000-1050
Кремнистая латунь	до 10	1130-1180	1100-1150
	свыше 10	1080-1130	1050-1100
Алюминиевая бронза	до 10	1150-1250	1100-1200

**Охлаждение отливки.** Процесс превращения сплава в отливку, совершающийся в форме, можно рассматривать как некоторый обобщенный технологический путь. Произведение силы на путь есть работа. Отсюда понятие «работа литейной формы». Взаимодействие формы с залитым в нее сплавом делится на этапы.

**Первый этап.** Взаимодействие поверхности стенок литейной формы с жидким сплавом. Продолжительность этапа на данном участке поверхности формы от долей секунды до 2-3 с. На данном этапе возможно размывание и частичное разрушение элементов литейной формы металлическим потоком.

Может происходить проникновение металлического расплава в поры формы с образованием механического пригара. Из поверхностного слоя формы могут выделяться газы, которые в виде пузырьков будут всплывать в верхнюю часть отливки.

**Второй этап.** Взаимодействие поверхностного слоя формы с коркой. Продолжительность этапа от нескольких до десятков секунд. В твердой корке на этом этапе могут существовать участки жидкости, в которых развивается обратная ликвация. Отливка отдает основное количество теплоты перегрева. Тепловой поток начинает распространяться вглубь стенок литейной формы. Начинается взаимодействие атмосферы формы с металлом отливки; образуются оксиды металлов, которые вступают в химические реакции с материалами формы; появляется химический пригар. На поверхности раздела литейной формы и отливки повышается давление газов, обычно приводящее к микроискажению металлической поверхности, а также к образованию поверхностных газовых пузырей в отливке.

**Третий этап.** Взаимодействие литейной формы с затвердевающей отливкой. Продолжительность этапа от нескольких минут до десятков часов, в зависимости от толщины стенки отливки. Затвердевание последовательно продвигается вглубь отливки; тепловой поток последовательно прогревает стенки литейной формы. Формирование химической фазы пригара в форме и измененного приповерхностного (обезуглероженного) слоя в отливке завершается. Происходит интенсивное механическое взаимодействие отливки и литейной формы. Размеры отливки уменьшаются, размеры формы могут увеличиваться. Усадке выступающих частей отливки препятствуют помещающиеся между ними объемы литейной формы, что может приводить к трещинам. Газовые процессы перестают играть существенную роль. Под действием теплоты отливки в формовочных материалах происходит процесс, ведущий к их упрочнению или, наоборот, разупрочнению, что определяет их выбиваемость.

**Четвертый этап.** Взаимодействие литейной формы с затвердевшей охлаждающейся отливкой. Продолжительность этапа от часов до нескольких суток. Отливка и литейная форма охлаждаются как единое целое. Процесс завершается, когда отливка приобретает температуру, приемлемую для ее выбивки. После затвердевания отливку выдерживают в форме для охлаждения до температуры выбивки.

Чем выше температура выбивки, тем короче технологический цикл изготовления отливки и больше производительность формовочно-заливочного участка. Однако высокая температура выбивки нежелательна из-за опасности разрушения отливки, образования дефектов или ухудшения ее качества. Вблизи температуры кристаллизации сплавы имеют низкие прочностные и пластические свойства, поэтому опасность разрушения отливок особенно велика. Кроме того, на воздухе отливки остывают быстрее, чем в форме. При этом неравномерность охлаждения массивных и тонких сечений усиливается, и уровень внутренних напряжений в отливке возрастает. Ранняя выбивка может привести к образованию трещин, короблению и сохранению в отливке высоких остаточных напряжений. Стальные отливки рекомендуют охлаждать в форме до 500-700 °С, чугунные до 400-500 °С. Сложные отливки, склонные к образованию трещин, охлаждают в форме до 200-300 °С, а отливки, не склонные к образованию трещин, до 800-900 °С. Температура выбивки отливок из бронз составляет 300-500 °С, из алюминиевых и магниевых сплавов соответственно 200-300 и 100-150 °С.

Продолжительность выдержки в форме определяется толщиной стенки отливки, свойствами залитого сплава и литейной формы, температурой выбивки. Она может быть рассчитана или определена экспериментально. В зависимости от природы сплава и конструкции отливки время выдержки в песчаной форме составляет от нескольких минут до суток и даже недель.

Средняя скорость охлаждения отливок в формах колеблется от 2 до 150 °С/мин. Скорость охлаждения выбирают с учетом толщины стенок отливки и прочностных свойств сплава. При большой разнице скоростей охлаждения



отдельных частей отливок возникают большие термические напряжения, которые могут привести к короблению отливок или появлению в них трещин.

**Определение времени выдержки отливок в формах после заливки.**

При определении выдержки отливок в формах за основу принимают температуру, начиная с которой отливку можно охлаждать на воздухе без опасения получить холодные трещины и другие дефекты, вызванные изменением условий охлаждения. Скорость и равномерность охлаждения отливки зависят от температуры воздуха, наличия сквозняков и теплофизических свойств сплава.

**Определение времени выдержки чугунных отливок.** Оптимальное время выдержки чугунных отливок массой до 2000 кг определяется по табл. 18 [6].

Таблица 18

Оптимальное время выдержки чугунных отливок

Масса отливки, кг	до 10	10- 50	50- 100	100- 250	250- 500	500- 750	750- 1000	1000- 1250	1250- 1500	1500- 1750	1750- 2000
Выдержка, ч.	1,0	1,5	2,0	3,0	5,0	7,0	9,0	11,0	13,0	15,0	17,0

Для деталей из высокопрочного чугуна время выдержки, полученное по номограмме, следует умножить на коэффициент  $K = 1,5$ . При формовке в почве продолжительность выдержки должна быть увеличена на 20-30 %.

**Определение времени выдержки отливок из цветных сплавов.**

Продолжительность выдержки отливок в форме зависит от степени их сложности и материала отливки. Время охлаждения колеблется в зависимости от массы отливки в широких пределах (от 5-10 мин до нескольких суток) и определяется опытным путем в каждом конкретном случае.

Рекомендуется отливки из магниевых сплавов выбивать при температуре 100-150 °С, отливки из легких сплавов - при температуре 250-350 °С, отливки из сплавов на медной основе - при температуре 300-400 °С.

При ранней выбивке отливки, не обладая необходимой прочностью, легко ломаются и, подвергаясь резкому охлаждению на воздухе, получают высокие внутренние напряжения вследствие неравномерного охлаждения толстых и тонких сечений, что приводит к короблению и образованию трещин. Во избежание этого рекомендуется, толстые части отливки освобождать от формовочной смеси раньше, чем тонкие, или разрыхлять форму и стержни в местах затрудненной усадки.

### **2.13. СПОСОБЫ ВЫБИВКИ ФОРМ И СТЕРЖНЕЙ**

**Выбивка отливок из форм.** Обычно эту операцию выполняют на механических выбивных решетках, которые по принципу действия классифицируют на эксцентриковые (рис. 50, *а*) с приводом от механизма шатунно-кривошипного типа, инерционные (рис. 50, *б*) с приводом от вала с дебалансом и ударные инерционные (рис. 50, *в*), наносящие снизу удары по установленным неподвижно литейным формам. Решетка *1* с литейной формой *4* с помощью привода *3* и опорной пружины *2* совершает колебательное движение. В каждом цикле колебаний решетки форма подбрасывается вверх и затем, падая, ударяется о решетку или опорную раму. В момент соударения под действием сил инерции форма разрушается. Выбитая из опоки формовочная смесь проваливается через решетку и системой конвейеров передается к месту ее переработки для повторного использования.

По сравнению с эксцентриковыми решетками инерционные имеют следующие преимущества:

- изменяя величину дебаланса на инерционной решетке, можно легко изменять удельную энергию удара, что дает возможность установить его необходимое значение в зависимости от показателей выбиваемой формы (типа

смеси, твердости и плотности формы, степени ее предварительной подсушки);

- инерционные решетки можно устанавливать на более легком фундаменте, так как пружинная подвеска передает на него возникающие при выбивке усилия и вибрацию ослабленными.

При выбивке крупных и тяжелых, форм применяют установки, состоящие из нескольких выбивных решеток. Эти установки позволяют более рационально использовать энергию, так как для выбивки форм малой массы можно включать в работу часть решеток, составляющих установку.

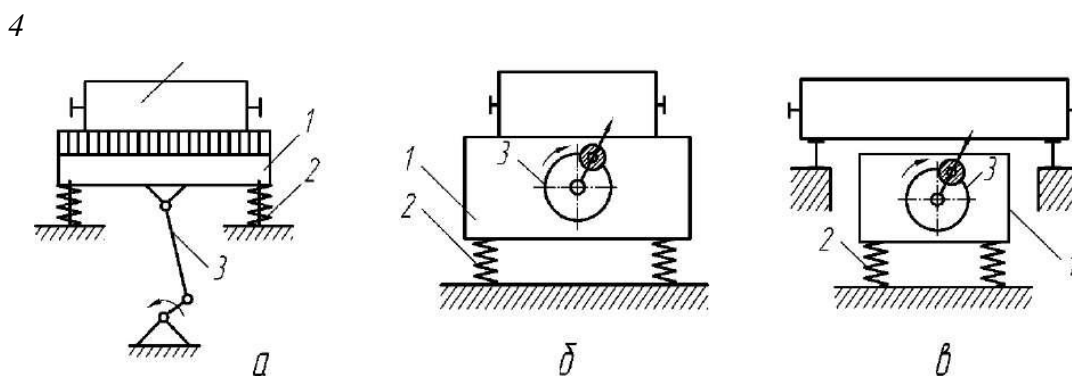


Рис. 50. Типы механических выбивных решеток: *а* - эксцентриксовая; *б* - инерционная; *в* - ударная инерционная

В установках с наклонной платформой на позиции выбивки вся тележка конвейера наезжает на платформу, которая наклоняется и сбрасывает форму на расположенный ниже вибрационный конвейер, где и происходит отделение отливок от формовочной смеси.

Для выбивки форм без крестовин в нижней опоке наиболее распространены установки, работающие на провал. При этом способе форма устанавливается на вибрирующую раму, расположенную над выбивной решеткой. Опoka опирается на раму краями, отработанная смесь вместе с отливкой сквозь проем рамы проваливается на решетку, где и происходит их разделение.

При наличии крестовин в нижней опоке выбивка на провал без распаровки невозможна, так как крестовины не позволяют удалять отливку вместе

с формовочной смесью. В этом случае применяют установки для автоматизированной выбивки форм трех типов:

- с отдельной выбивкой верхней и нижней опок с предварительной распаровкой и извлечением отливки до выбивки;
- отдельной выбивкой верхней и нижней опок с предварительной распаровкой и извлечением отливки после выбивки;
- с выбивкой спаренных форм с последующей распаровкой и извлечением отливки.

Выбивка форм сопровождается выделением большого количества теплоты и пыли, поэтому участки выбивки форм оснащают мощными системами вытяжной вентиляции, а выбивные решетки большой грузоподъемности (выше 10 т) имеют пыле- и звукоизолирующие накатные кожухи.

Удаление стержней из отливок является трудоемкой операцией. Трудоемкость выбивки стержней из отливок зависит от вторичной прочности стержневой смеси, конфигурации полости отливки, напряженного состояния стержня в отливке. Стержни, изготовленные из смесей на органических связующих (маслах и их заменителях, синтетических смолах), обладают низкой вторичной прочностью, хорошей выбиваемостью. Поэтому во многих случаях стержни, особенно простые, выбивают из отливок в процессе отделения отливки от формовочной смеси на выбивной решетке, или при очистке отливок в дробеметных установках. Однако достаточно крупные стержни даже из смесей на синтетических смолах выбивают на выбивных установках.

Для выбивки стержней из мелких и средних отливок в условиях массового и крупносерийного производства используют пневматические вибрационные установки. Установка представляет собой раму, на которой установлены передняя и задняя бабки (рис. 51). Задняя бабка имеет пружинный упор 2, передняя имеет направляющие, на которых установлен подвижный вибратор 5, оканчивающийся бойком-зажимом 3. Перемещение вибратора по направляющим и зажим отливки между передней и задней бабками обеспечиваются

пневмоцилиндром. Для выбивки стержня отливку устанавливают на станину или подвешивают на талях и зажимают между бабками. Плунжер вибратора сотрясает отливку, вследствие чего стержень разрушается.

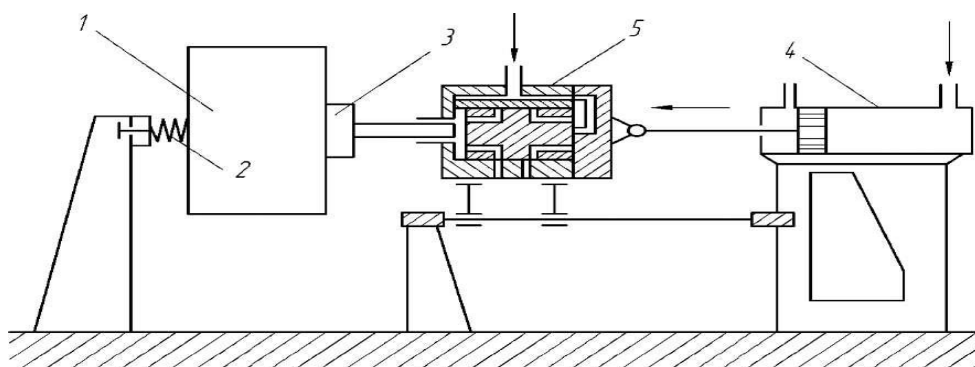


Рис. 51. Схема вибрационной установки для выбивки стержней:

1 - отливка; 2 - пружинный упор; 3 - боекзажим вибратора;  
4 - пневмоцилиндр; 5 - вибратор

Схема удаления стержня из отливки приведена на рис. 52. Одновременно происходит очистка поверхности отливки. При этом установки высокого и сверхвысокого давления могут быть дополнительно оборудованы насосной станцией низкого давления, используемой для вымывания и гидротранспортирования разрушенных стержней. По сравнению с выбивкой стержней сухим способом при гидравлической выбивке стержней полностью отсутствует пылеобразование, сохраняются для повторного использования стержневые каркасы и значительно ускоряется процесс удаления стержней.

23

4

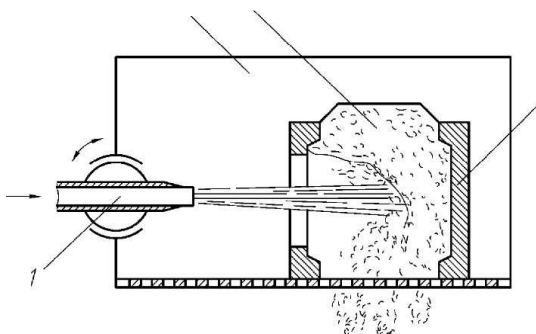


Рис. 52. Схема удаления стержня из отливки в гидравлической камере:

1 - гидромонитор; 2 - гидрокамера; 3 - стержень; 4 - отливка

Струя воды оказывает на стержень двойное действие: размывающее, при котором вместе с водой удаляется стержневая масса, и разрезающее, при котором струя разрезает стержень на части и уносит их из отливки. Размывающее действие струи тем больше, чем больше расход воды. Разрезающее действие тем больше, чем больше скорость струи, зависящая от давления воды. Для оптимального действия струи необходимо сочетать размывающее действие с разрезающим таким образом, чтобы за минимальное время удалять стержень.

Опытным путем установлено, что чем больше прочность материала стержня в момент выбивки, тем большее значение имеет разрезающее действие струи. Давление воды при этом должно быть выбрано больше, а диаметр сопла при ограниченной мощности насоса может быть соответственно меньше.

Гидромонитор делают в виде трубы длиной 1-4 м (рис. 53). По практическим данным диаметр трубы в установках высокого давления принимают из расчета, чтобы отношение ее сечения к проходному сечению сопла было равно 5,0-5,5. Обычно гидромониторы таких установок делают диаметром до 25 мм, а установок низкого давления – до 40-50 мм и более.

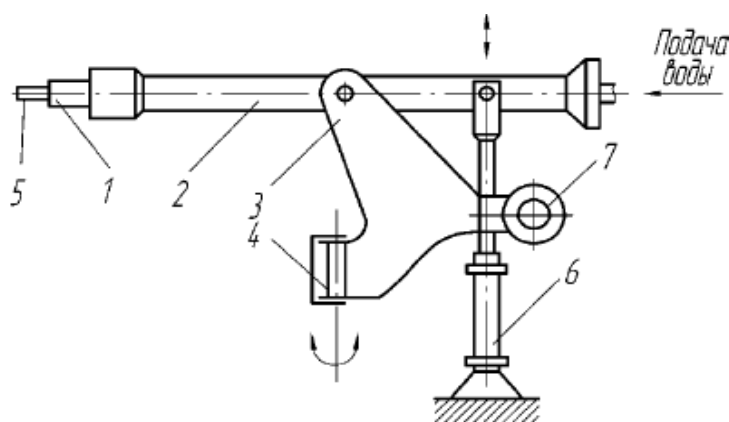


Рис.53.Схема устройства гидромонитора

1, 2 - телескопически соединенные стволы; 3 - кронштейн; 4 - ось кронштейна; 5 - насадок монитора; 6 - гидроцилиндр перемещения по вертикали; 7 - гидроцилиндр перемещения по горизонтали

Гидромонитор рекомендуется устанавливать так, чтобы его наконечник находился от выбиваемого стержня на расстоянии 100-150 мм. Еще больший эффект дает пескогидравлическая обработка отливок. Разрушающая сила струи воды с песком гораздо больше, чем разрушающая сила струи воды без песка. С помощью песчано-водяной струи можно не только выбивать стержни, но и очищать поверхность отливок.

Пескогидромонитор представляет собой струйный аппарат, работающий по принципу гидравлического эжектора (рис. 54).

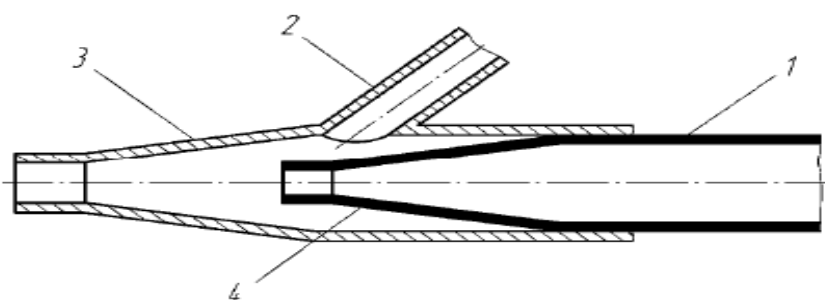


Рис.54.Схема пескогидромонитора: 1 - ствол; 2 - патрубок для пульпы; 3 - выходной насадок; 4 - входной насадок

По стволу монитора через выходной насадок, или сопло, подается вода под высоким давлением (7,5-15 МПа). Струя воды, выходящая с большой скоростью из сопла, засасывает пульпу, т.е. смесь песка и воды, в смесительную камеру или в конический выходной насадок, из отверстия которого уже выходит рабочая песчано-водяная струя. На входе в пескогидромонитор консистенция пульпы включает в себя 50 % песка и 50 % воды (по объему). Выходящая рабочая струя при этом содержит около 15 % песка.

Преимущества этого способа выбивки: обеспечиваются высокая производительность и эффективность; исключается тяжелый ручной труд; снижается запыленность воздуха в литейных цехах.

**Обрубка, очистка и термическая обработка отливок.** После выбивки из форм отливки обычно обрубают и очищают. **Обрубка** отливки

заключается в отделении от нее прибылей, литников, выпоров и в удалении заливов по месту сопряжения полуформ или в области стержневых знаков. Обрубают отливки с помощью молотков и пневматических зубил, абразивных кругов и прессов, ленточных и дисковых пил, также используют дуговую, газовую или анодно-механическую резку. В некоторых случаях прибыли отрезают на токарных станках.

Пригар на поверхностях отливок существенно затрудняет отрезку литников и прибылей. В таких случаях перед обрубкой отливки вместе с литниками и прибылями очищают.

Литники от чугунных отливок легко отбиваются при слабом ударе. От мелких отливок они отделяются в основном при выбивке форм. Оставшиеся на отливках литники отбивают молотками или обламывают на прессах. В отдельных случаях отделение литников от чугунных отливок совмещают с предварительной очисткой в галтовочных барабанах.

**Очистка отливок.** Для удаления пригара и улучшения поверхностей отливки подвергают очистке галтовкой, дробеструйной, дробеметной, вибрационной и электрохимической обработке.

Очистку отливок галтовкой осуществляют в барабанах периодического и непрерывного действия. Барабаны периодического действия применяют в цехах мелкосерийного производства, в массовом производстве используют барабаны непрерывного действия. Очистка отливок в барабанах происходит в результате их взаимного трения.

Галтовочные барабаны непрерывного действия (рис. 55) имеют два кожуха. Отливки по лотку 5 и звездочки с помощью лопаток 4 непрерывно поступают во внутренний кожух 1. Перемещаясь к другому концу барабана, отливки очищаются. Звездочки, не доходя до конца барабана, проваливаются во внешний кожух 2 и спиральными направляющими 3 вновь подаются к загрузочному окну. Отработанная смесь проваливается через отверстия во внешнем кожухе и удаляется из барабана.



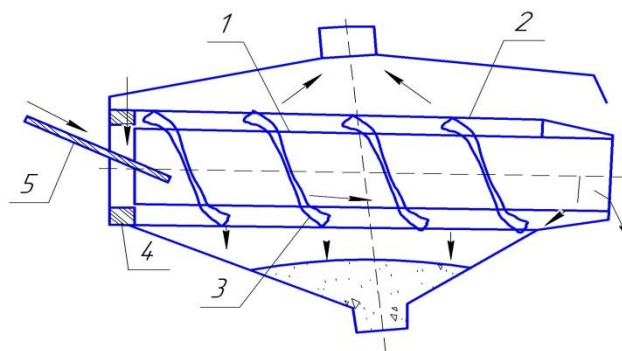


Рис.55.Галтовочный барабан непрерывного действия для очистки  
отливок

Чугунные и стальные отливки обычно подвергают дробеметной очистке. На очищаемую поверхность дробь подается метательными головками *1* в виде турбинок, вращающихся с частотой до 3000 об/мин. Дробь, выбрасываемая большой центробежной силой, ударяется о поверхность отливок *2* и очищает ее (рис. 56). Дробеметная очистка более производительна, чем дробеструйная. Она осуществляется в дробеметных очистных барабанах и камерах. В дробеметных барабанах очищают мелкие и средние отливки массой до 40 кг. Равномерная очистка всех поверхностей отливок достигается в процессе их перекачивания внутри вращающегося барабана *3* (рис. 56, *а*) или на движущемся пластинчатом конвейере *3* (рис. 56, *б*) внутри неподвижного барабана. В массовом производстве применяют очистные барабаны с пластинчатым конвейером непрерывного действия, в которых отливки в процессе очистки перемещаются еще вдоль оси барабана.

В дробеметных камерах очищают отливки массой более 50 кг. Отливки устанавливают на вращающиеся очистные столы или подвешивают на вращающиеся подвески *3* (рис. 56, *в*). Очистка происходит внутри камеры *4*. В массовом производстве применяют проходные дробеметные камеры непрерывного действия, а при небольшом объеме производства отливок - тупиковые дробеметные камеры периодического действия.

Остатки смеси и пригар на внутренних поверхностях чугунных и стальных отливок, труднодоступных при дробеметной очистке, успешно удаляют

электрохимической обработкой. Для этого отливки погружают в расплав NaOH или KOH, температура которого 450-500 °С, и подключают к источнику постоянного тока напряжением 2,5-3,5 В и плотностью 0,03-0,05 А/м .

Отливки в течение 7-8 мин являются катодом, в течение 3-4 мин анодом и 3-4 мин вновь катодом. После этого их промывают в холодной и горячей воде. Очистка поверхности отливок происходит за счет катодного восстановления оксидов железа и растворения SiO<sub>2</sub> пригара и смеси в щелочном расплаве с образованием силикатов.

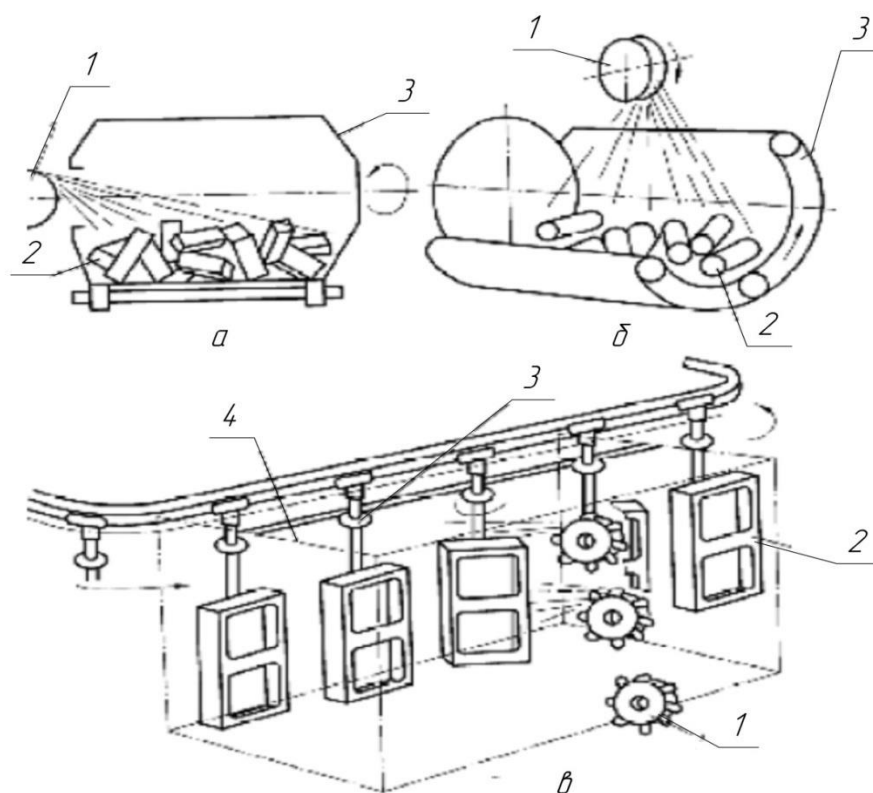


Рис.56.Схема дробеметной очистки отливок

В современных крупных литейных цехах используют комплексные установки для очистки отливок. Например, поточная линия очистки включает выбивную решетку, галтовочный барабан, дробеметные установки, зачистные станки и систему конвейеров для передачи отливок с одной операции на другую.

Стальные отливки зачищают также газокислородными горелками, которые применяют для обрезки литников и прибылей.

*Термическая обработка отливок.* Отливки в литом состоянии имеют крупнозернистую структуру, высокую твердость, низкие прочностные и пластические свойства. В них сохраняются значительные внутренние напряжения. Структура и свойства отливок могут быть значительно улучшены термической обработкой. Вид обработки (отжиг, нормализация, закалка, отпуск) определяется природой сплава, конфигурацией отливки и техническими условиями.

Стальные отливки обычно подвергают термической обработке в два этапа. Сначала проводят предварительную термообработку (отжиг, нормализацию или нормализацию с отпуском) для снятия внутренних напряжений, измельчения структуры и уменьшения твердости перед механической обработкой. При отжиге эти задачи решаются полнее, однако недостатком этого вида обработки является большая продолжительность. Поэтому отжигают лишь отливки, склонные к образованию значительных внутренних напряжений. Отливки простой конфигурации подвергают нормализации. Для отливок ответственного назначения назначают нормализацию и отпуск. При окончательной термической обработке стальные отливки подвергают нормализации и отпуску или закалке и отпуску. Выбор закалочной среды (вода или масло) зависит от состава стали (ее закаливаемости) и сложности отливки, а температура отпуска (низкий, средний или высокий) - от требуемых механических свойств отливки. По мере повышения температуры отпуска прочность и твердость снижаются, а пластические свойства и ударная вязкость повышаются. Если нагрев и охлаждение отливок происходят в окислительной среде, то поверхность покрывается окалиной. Поэтому отливки подвергают повторной очистке. Механически обработанные стальные отливки при необходимости подвергают цементации, азотированию и другим видам химико-термической обработки.

Закаленные отливки требуют дополнительной термической обработки для снятия внутренних напряжений.

Качество отливок из алюминиевых и магниевых сплавов улучшают путем старения, отжига, закалки и закалки с последующим искусственным старением. Отливки из медных сплавов обычно не подвергают термической обработке. Лишь в отдельных случаях их отжигают для снятия внутренних напряжений.

## **2.14. ОБЕСПЕЧЕНИЕ КАЧЕСТВА ОТЛИВОК. КОНТРОЛЬ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ИЗГОТОВЛЕНИЯ ОТЛИВОК**

*Цель контроля литейной технологии.* Контроль ставит своей целью предупреждение выпуска негодной продукции и уменьшение количества брака. В условиях работы литейных цехов приняты следующие определения годности отливок: абсолютно годные; ограниченно годные, в этом случае предусматриваются единичные отливки, габаритные, сложные по конструкции и дорогие по металлу; исправимый брак, сюда относятся отливки с дефектами, которые технически возможно и экономически целесообразно исправить без снижения их прочности; окончательный брак.

Контроль производится на контрольных участках, обеспеченных средствами контроля: контрольно-измерительными инструментами, приспособлениями, лабораториями, специальными испытательными гидро- и пневмоустановками и др.

Общими методами контроля литейного производства являются:

- разметка, служащая для проверки размеров отливок, и контрольно-измерительный инструмент: калибры, скобы, шаблоны и др. (особенно при серийном производстве отливок);
- внешний осмотр, позволяющий выявить недоливы, трещины, коробление и другие дефекты отливок. Такой метод контроля является наиболее распространенным и применимым как для индивидуального, так и массового производства отливок;
- лабораторные испытания, которыми определяют химический состав и физико-химические свойства отливок.

**Контроль исходных формовочных материалов.** Исходными материалами литейного производства называются материалы, применяемые при изготовлении отливок. Исходные материалы делятся на основные и вспомогательные.

К основным материалам относятся пески и глины формовочные, связующие материалы, шихтовые материалы.

Вспомогательными материалами являются краски, припылы, противопригарные примеси, ремонтные глины и др.

Элементами проверки качества противопригарных красок являются плотность, отсутствие расслаивания перемешанной краски в течение 5-7 ч, отсутствие стекания, подтеков и намывов на вертикальной поверхности. На стандартном цилиндрическом стержне, подсушенном при 200-220 °С, краска, наложенная ровным тонким слоем, покрывает прочно стержень, не отслаивается и не пачкает рук.

**Контроль формовочного инструмента.** Организация контроля формовочных и стержневых инструментов и приспособлений зависит от характера и масштаба производства. В соответствии с этим ниже приводятся материалы по контролю формовочных инструментов и приспособлений при машинной формовке по-сырую (крупносерийное производство) и стержневого инструмента и приспособлений в индивидуальном и мелкосерийном производстве.

При таком характере производства контроль инструментов и приспособлений, применяемых для изготовления крупных литейных форм и стержней, осуществляется путем осмотра и проверки целостности, сохранности их и пригонки отъемных частей, знаков в моделях и ящиках и др.

Проверка качества и сроки контроля формовочных и стержневых инструментов и приспособлений приведены в табл.19.

Проверка качества и сроки контроля формовочных и  
стержневых инструментов и приспособлений

Инструмент или приспособление	Объекты проверки	Сроки контроля
Формовочный инструмент и приспособления		
Сборочные шаблоны Предельные скобы Универсальный инструмент	Предельные размеры Изменение формы	Один раз в две - три недели
Опоки	Высота нижней половины Коробление, расстояние между центрами втулки	Один раз в две недели
Модельные плиты	Предельные размеры моделей, крепление моделей, состояние литниковой системы	Размеры один раз в месяц; остальное ежедневно
Подопочные плиты	Изменение формы	Один раз в две недели
Установочные шпильки	Предельные размеры Положение на плите Изменение формы	Размеры один раз в две недели; остальное ежедневно
Сборочные шпильки	Предельные размеры Изменение формы	Один раз в две недели
Стержневой инструмент и приспособления		
Калибры, скобы и шаблоны для контроля и приемки стержней Стержневые ящики	Предельные размеры Изменение формы Общее состояние	Размеры один раз в месяц . Изменение формы один раз в две недели. Состояние ежедневно
Сушители и плиты	Предельные размеры Изменение формы	Один раз в две недели
Приспособления для зачистки и склеивания	То же	То же

В результате многократной заливки металла опоки подвергаются короблению.

Коробление опок проявляется в их «качке» и искривлении ушков со спаренными втулками. Практически наибольшая величина качки допускается в 0,2 мм на длину опоки размером 500 мм. «Провалы» опоки на длине в 100 мм разрешаются до величины, равной двойному короблению.

Контроль коробления опоки 1 производится на рихтовочной плите 3 щупом 2 (рис. 57).

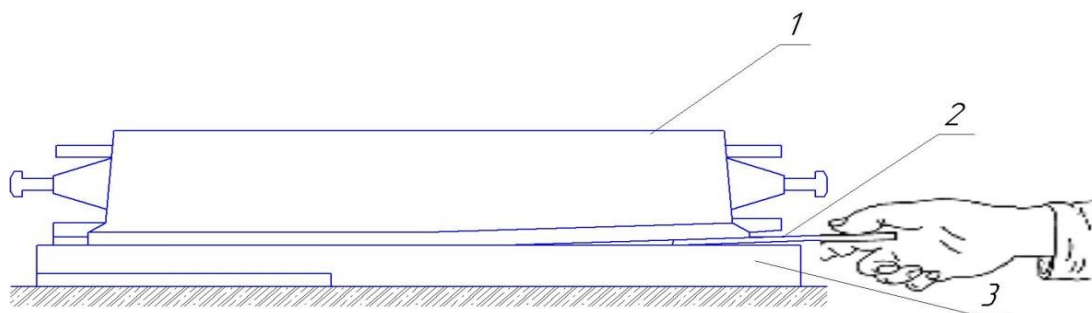


Рис. 57. Контроль опоки на коробление

Контроль втулок опоки осуществляется путем проверки размеров их диаметра. Втулки изготовляют по наружному диаметру не ниже 3-го класса точности с допуском и по внутреннему - не ниже 4-го класса точности.

**Модельные плиты.** На плитах крепят модели, знаки и литниковые системы. Проверка их крепления и физического состояния производится путем наружного осмотра. Тщательному контролю в отношении физического состояния и крепления подвергают контрольные шпильки. Неудовлетворительное их физическое состояние (погнутость) или ослабление крепления приводит к сдвигу модели. Элементы модельной плиты проверяют по установочным рискам или шаблонам. Геометрические элементы плиты (оси, горизонтальность и др.) проверяются на разметочной плите. Износ моделей для обычных отливок допускается в пределах 0,4 мм, а для точных и мелких отливок - 0,05 мм. Смещение модели относительно центра установочной шпильки не должно быть выше 0,1 мм. Тщательному контролю подвергают также размеры модельных знаков. Коробление плиты возможно до 0,3 мм.

Впадины на плите, получающиеся при установке опок, ее должны превышать 1 мм. Важным в контроле является проверка нормального зазора по знаку стержня. Практически такой зазор принимается равным 0,3 мм на сторону. На модельной плите возможно неплотное крепление моделей, литниковых систем и др. Такие зазоры могут привести к заусенцам. В этом случае необходимо неплотно сидящие элементы модельной плиты зачеканить и зачистить.

Контроль установочных шпилек заключается в проверке вертикального положения на плите и их размеров. Вертикальное положение шпилек контролируется придвинутым вплотную к шпильке угольником. В случае зазора между угольником и установочной шпилькой, вызванного искривлением шпильки, ее нужно заменить новой. Возможно, что зазор (просвет) и при новой шпильке сохранится. Тогда необходимо проверить отверстие для шпильки. Смещение центра шпильки вдоль оси допускается в пределах 0,3 мм. Контроль шпилек по износу в диаметре производится предельной скобой или штангенциркулем. Износ шпилек в диаметре допускается в пределах 0,25 мм. Подопочные плиты изменяют свою форму, коробятся в результате работы. Особенно сильно коробятся сварные стальные плиты, меньше - алюминиевые. Коробление подопочной плиты приводит к выпиранию литейной формы по плоскости разъема. Коробление подопочной плиты находится в пределах 1мм. Контроль подопочных плит производится линейкой, соответствующей длине плиты.

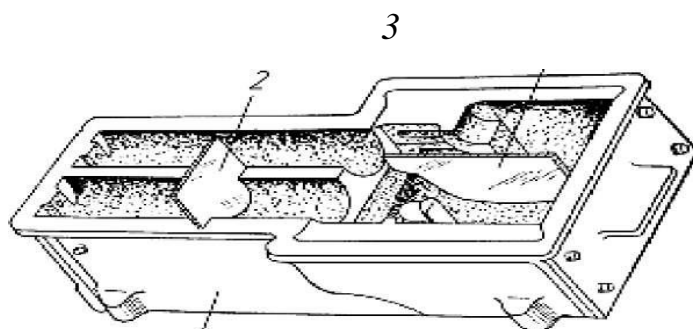
При спаривании опок (сборка) большое значение имеют сборочные шлифованные штыри. Проверка размеров, состояния шлифовки и изменения формы (искривление) является элементом контроля.

Сборка является последней технологической операцией изготовления литейной формы. При выполнении этой операции широко применяют контрольные сборочные шаблоны.



Контроль стержневых ящиков в массовом производстве осуществляется путем предупредительного осмотра, выборочной проверки основных размеров и сплошной проверкой стержневого ящика.

Предупредительным осмотром проверяется наличие всех отъемных частей, состояние плоскости разъема втулок, штырей и др., отсутствие выбоин и заусенцев. Такая проверка стержневого ящика производится ежедневно. Выборочная проверка основных размеров стержневого ящика производится на рабочем месте с применением скоб или шаблонов (рис. 58). Износ основных размеров ящика допускается в пределах 0,2-0,3 мм. Выборочную проверку основных размеров стержневого ящика целесообразно проводить одновременно с контролем размеров стержня, особенно по плоскости разъема. Зазор по плоскости разъема при изготовлении стержней на пескодувных машинах находится в пределах 0,1-0,15 мм. Размер зазора проверяется мерным щупом. Зазор (или люфт) между штырями и втулками находится в пределах 0,3-0,4 мм на диаметр. Люфт на обе стороны в гнездах отъемных частей недопустим свыше 0,5 мм. Местный износ стержневого ящика особенно часто проявляется в его знаках, через которые набиваются стержни. В этом случае соответствующими предельными калибрами или шаблонами следует производить ежедневную проверку размеров знака одновременно с внешним осмотром стержней.



1

Рис. 58. Проверка стержневого ящика шаблонами: 1 - стержневой ящик;

2, 3 - шаблоны

Сплошная проверка стержневого ящика производится на разметочной плите ежемесячно. В условиях изготовления литейной формы модельные знаки уменьшаются в размерах, а знаки в стержневых ящиках увеличиваются. Поэтому необходимо подвергать тщательному контролю модельные и стержневые знаки, так как нарушение их размеров может привести к неправильной посадке стержня, к искажению отливки. Стержни сушатся на драйерах и сушильных плитах. Поэтому устройство драйера должно обеспечить полную поддержку во всю длину и по всей поверхности стержня, чтобы предупредить его поломку или изменение формы. При пользовании драйером предусматривается качественное состояние опорных поверхностей, отсутствие коробления и монтаж драйера на шпильки стержневого ящика. Величина коробления драйера и сушильной плиты под стержень колеблется в пределах 0,3-0,4 мм. Проверяется драйер на плите путем наложения его на эталон и обвода щупом зазора между плоскостью соприкосновения драйера с поверочной плитой. Пригар на опорной поверхности драйера не допускается.

Стержни для тонкостенных отливок изготавливают с припуском. Такие стержни после сушки доводят до заданных размеров в специальных приспособлениях, называемых кондукторами. При зачистке стержней применяется съемная арматура кондуктора, которая при доводке стержня изменяет свои размеры. Колебание в размерах нового или отремонтированного кондуктора находится в пределах  $\pm 0,1$  мм, а износ кондуктора не должен превышать 0,3 мм. Кондуктор подвергается общему или выборочному контролю по основным размерам. Выборочная проверка производится на рабочем месте обычным измерительным или контрольным инструментом. Общая проверка основных размеров кондуктора выполняется периодически на разметочной плите. Кондукторы, применяемые для склеивания стержней по половинкам или составным частям, контролируются таким же способом, как и кондукторы для доводки. Для проверки перекоса стержня при склеивании в кондукторе имеется специальный ограничительный упор, который должен находиться

всегда в хорошем состоянии. Для доводки стержней применяют фрезы, у которых быстро снашиваются горизонтальные режущие кромки. Величина колебания размеров новой фрезы находится в пределах 0,3 мм, износ фрезы допускается до 0,3 мм; изменение формы фрезы проверяется щупом.

Стержневые ящики и другие приспособления, применяемые при изготовлении стержней, должны быть в исправности. Однако это не исключает появления в стержнях неточностей размеров и искажения формы вследствие сушки, транспортировки и др. Для контроля и приемки стержней применяют калибры, скобы и шаблоны, изготовленные по 2-му классу точности; предельный износ контрольного инструмента не должен превышать двойного допуска, принятого при его изготовлении.

**Контроль качества литья.** Внешние недостатки, обнаруживаемые на поверхности отливок. К таким недостаткам относятся заметные искажения конфигурации отливки, неправильные размеры и неудовлетворительная поверхность. В литейном производстве изготавливают отливки по 1, 2 и 3-му классам точности, соответственно массовому, серийному и индивидуальному производству. Для измерения и контроля отливок применяют линейки металлические (метр), рулетки, штангенциркули, штангенглубиномеры, микрометры и индикаторы часового типа. Неудовлетворительная поверхность отливки такая, на которой есть выступы или неровности. Качество поверхности проверяется обычно приборами, соприкасающимися с отливками (щупы), или реже путем разреза.

**Контроль форм.** При проверке качества литейной формы контролю подвергаются отдельные операции изготовления формы: уплотнение и качество трамбовки, сушка и качество высушенной формы, сборка формы, отделка, транспортировка формы на заливку, крепление формы. При безопочной заливке проверяется также операция надевания жакета.

Уплотнение формы, производимое вручную (пневматической трамбовкой) или на машинах, является ответственной операцией, неудовлетворительное выполнение которой может привести к наростам, пригару, песочным ра-

ковинам и др. Однако до операции уплотнения следует систематически осуществлять контроль за выполнением предшествующих вспомогательных операций изготовления литейной формы. Так, например, в ручной формовке имеет важное значение правильность горизонтальной установки модели (а затем и опоки) на подмодельном щитке. В силу этого рекомендуется систематически при помощи уровня проверять положение подмодельного щитка при формовке.

Контролю подвергается также состояние опок и моделей.

1. Опоки и подмодельные плиты должны быть очищены гладилкой, косматкой или струей воздуха от следов формовочной смеси и грязи.

2. Модели должны быть протерты керосином или другой смазкой (если модели металлические) или припылены тонким припылом (если они деревянные).

3. Съёмные модели отливки и литниковой системы должны располагаться от стенок опок на установленном расстоянии, но не менее чем на 30 мм.

4. Опоки должны отстоять от выступающих частей модели, в зависимости от ее размеров, не менее чем на 10-15 мм.

5. После засыпки облицовочной смесью модели стояка и выпора должны быть обжаты вручную, а узкие песчаные болваны и слабо уплотняющиеся места укреплены обжатием или установленными приспособлениями (шпильками, крючками и т.д.), предварительно смоченными жидкой глиной (белюгой).

Набивка формы должна начинаться у стенок опоки, где требуется большее уплотнение смеси для предупреждения ее оседания, и вестись сначала узким концом трамбовки, а затем плоской ее стороной. Набивка вокруг моделей литниковой системы, а также вокруг отъемных частей моделей должна быть более плотной с целью предупреждения местного размыва или повреждения формы, однако не такой плотности, чтобы вызвать ее кипение. Небрежное или неправильное выполнение трамбовки приводит

неизбежно к образованию брака. Обвалы, газовые раковины, распор формы, искажение размеров отливки, вскипы, ужимины, трещины и т.д. - все это в большинстве случаев является результатом неправильно изготовленной формы и плохой ее набивки.

Если формовку производят в почве, то необходимо следить за тем, чтобы все слои постели по своему составу и толщине соответствовали указаниям технологических карт, а вентиляционный слой был соединен с наружным воздухом трубами диаметром не менее 30 мм и в достаточном количестве, не менее одной трубы на каждый квадратный метр площади слоя.

При обнаружении в форме недоуплотненных или переуплотненных участков их необходимо исправлять подтрамбовыванием или разрыхлением с последующей подбивкой. При неправильной набивке всей формы ее следует перебить заново.

При формовке на прессовых машинах к прессованию надо приступать после окончания хода стола машины и выдерживать прессование в течение установленного времени.

Все дополнительные работы - поджатие углов опоки, подтрамбовку, подпрессовку и т.д. - необходимо выполнять в соответствии с указаниями технологических карт.

При ручной формовке необходимо проверять отделку форм, выполняемую в индивидуальном порядке по каждой форме, для чего необходимо следить, чтобы: форма не перекачивалась при удалении моделей; все выступающие части формы и места вокруг отъемных частей модели, если они выше 25 мм, были надлежащим образом пропилены шпильками длиной, равной двойной высоте выступающей или отъемной части; форма во избежание понижения газопроницаемости не заглаживалась; все наружные кромки выпоров, литниковой воронки и чаши были смочены и заглажены для предупреждения от осыпания; формы, предназначенные для заливки по-сухому, не окрашивались до отделки и тщательной очистки, и окраска их производилась равномерно по всей поверхности без наплывов, а знаки оставались неокрашенными.

ми; перед накрыванием форма была снова продута и очищена от мусора и пыли.

При машинной формовке, исключая отделку формы, необходимо следить за обжимом заусенцев, отсутствием обвалов смеси и за тем, чтобы форма перед сборкой была также тщательно очищена.

Наиболее важным операционным контролем является проверка качества сборки форм. Наружным осмотром проверяют, есть ли обрывы и трещины в сухих формах; чтобы убедиться в отсутствии обвалов в верхней половине формы, ее выдерживают в течение некоторого времени на весу в повернутом состоянии: если расположенная под ней поверхность окажется чистой - обвалов нет. Просушенность формы устанавливается соответствующей пометкой контролера сушки.

Ответственной операцией является установка стержней в форме. Посадку крупных и сложных стержней необходимо проверять обязательно по установочным или контрольным шаблонам, характер, количество и точность изготовления которых должны соответствовать масштабу производства.

После установки стержней необходимо обеспечить вывод их вентиляционных каналов и предохранить от попадания в них металла при заливке, а поверхность нижней половины формы при сырой формовке обвести риской для предохранения от прорыва металла.

При сборке форм в индивидуальном или мелкосерийном производстве, в особенности при крупных и сложных формах, для проверки толщины тела отливки необходимо производить пробную сборку по контрольным глиняным конусам, расставленным на выступающих поверхностях нижней половины формы.

В зависимости от способов крепления необходимо:

- при накрывании опок грузом следить, чтобы груз не был помещен на поверхность формовочной смеси, а опирался на стенки опоки. Несоблюдение этой предосторожности может привести к поломке формы;

- во время нагрузки опок грузом проверять достаточность его веса;

- при креплении опок стяжными болтами нагрузку на болт проверять по соответствующей формуле;

- при системе крепления опок струбцинами или болтами необходимо следить за одновременностью затяжки противоположных струбцин или за равномерным подтягиванием гаек на всех болтах.

При безопочной формовке необходимо контролировать правильность надевания жакетов, так как даже при наличии замка на поверхности разъема формы неправильная посадка жакета может вызвать одностороннее смятие формы или ее перекося. Проверка заключается в наблюдении за накрыванием жакета строго параллельно поверхности формы.

**Контроль стержней.** Элементы контроля при изготовлении, выбраковки и хранении стержней приводятся в табл. 20.

Сборка ящика в разъеме должна быть плотной. Выполнение этого требования обязательно для получения набивки требуемой плотности и чистой поверхности стержня, а в целых стержнях также и для обеспечения их размеров.

При работе на пневматических машинах встряхивание начинают только после наполнения смесью ящика на % его высоты, и производить уплотнение установленным количеством ударов в зависимости от давления воздуха. При изготовлении стержней на прессовых машинах следует проверять дозировку формовочной смеси и выдерживать прессование до тех пор, пока стол машины незакончит хода.

Контроль изготовления стержней на пескодувных машинах заключается в проверке давления воздуха в сети, состояния узлов воздушного питания в машине - клапанов, сопел, чистоты каналов и отверстий в ящике для выхода излишнего воздуха путем набивки пробного стержня. Строгое соответствие стержневой смеси проверяют по показателям ее сырой прочности, нормальный предел которой не должен превышать 0,005 - 0,010 МПа, а для отдельных несложных стержней - 0,015 МПа.

## Элементы контроля при изготовлении, браковке и хранении стержней

Этап изготовления	Контроль
Формовка стержней	Состояние ящика Качество смеси Сборка ящика. Качество набивки Укладка каркаса и выполнение вентиляции Транспортировка
Сушка стержней	Состояние сушильных плит Подбор стержней. Температура и длительность сушки. Качество сушки
Сборка и отделка стержней	Состояние инструментов и приспособлений Качество сборки и отделки
Браковка стержней	Качество стержней .Выявление брака
Хранение стержней	Условия хранения Система хранения

Качество набивки контролируют на отсутствие так называемых недоуплотненных, заметных по участкам неровностей или рваной поверхности стержня и на плотность набивки, в особенности по знакам.

Недоуплотнение может привести к искажению поверхности отливки. Недостаточно плотная набивка стержня может послужить причиной образования на нем трещин, оседания при сушке, искривления, поломок. Слишком плотная набивка часто вызывает вскип и образование газовых раковин вследствие пониженной газопроницаемости стержня.

Особо тщательно проверяют устройство и состояние вентиляции стержней независимо от способов их изготовления.

Далее рекомендуется перейти к проверке качества сушки стержней, требующей обязательной выдержки определенного температурного режима и установленной продолжительности нагрева. Недосушенные стержни могут



вызвать кипение формы и образование в отливке газовых раковин и вскипов, а пересушенные легко осыпаются и могут послужить причиной образования песчаных раковин в отливке.

Режим сушки контролируется по температуре и продолжительности процесса сушки. Температура сушки, указываемая обязательно для каждого класса стержней, контролируется любым имеющимся прибором.

Контроль сборки и отделки стержней является очень важной операцией. Контроль сборки выражается в обязательном прохождении через приспособления для зачистки или контрольные скобы каждого элемента стержня, поступающего в сборку (половинки, вставные части), а также окончательно собранного стержня.

Отделка состоит из заделки поломок, замазки швов, зачистки заусенцев, натирки или окраски стержней и окончательной подсушки.

Все эти операции выполняют строго по технологической карте.

Заделка должна обеспечивать требуемый контур стержня; во избежание местного вскипа отливки место заделки необходимо подвергать повторной сушке.

Замазка швов должна быть настолько тщательной, чтобы не допустить прорыва в них металла. Все заусенцы зачищают во избежание оставления на отливках швов, действующих как надрез и ослабляющих отливку.

Натирку стержня или его окраску надо наносить равномерным и тонким слоем без наплывов и пропусков, после чего стержень должен быть снова подсушен.

Контроль заливки формы производится по определению температуры заливаемого металла и технике заливки. В технику заливки входит: высота заливки, постоянство струи, заполнение литниковой системы и очистка шлака.

Температуру заливки металла проверяют непосредственно над опокой, независимо от проверки ее на желобе печи.

## 2.15. КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА ФОРМОВОЧНЫХ ИСТЕРЖНЕВЫХ СМЕСЕЙ. ВЫБОР СМЕСЕЙ

Известно, что одним из наиболее экономичных методов формообразования является получение заготовок посредством литья. При этом отходы металла в стружку в 1,5-2,0 раза меньше, чем при изготовлении деталей из поковок или проката. К тому же более 30 % общего выпуска отливок по массе используют в промышленности без механической обработки.

Вместе с тем в литейном производстве, в силу его технологических особенностей, брак продукции находится на наиболее высоком уровне по сравнению с другими видами металлообработки. Более 50 % всего брака отливок прямо или косвенно связано с качеством формовочных материалов и смесей.

Формовочная смесь представляет собой многокомпонентную систему, состоящую из огнеупорного зернистого наполнителя, связующего и добавок.

По признаку наличия связующего смеси можно отнести к песчано-глинистым, песчано-жидкостекольным и песчано-смоляным.

**Структура формовочной смеси.** Структура - это в общем случае взаимное расположение и характер связей между элементами, образующими целостную систему. Элементы формовочной смеси при более внимательном изучении сами оказываются системами, состоящими из более мелких частей, образующих иерархию элементов различных уровней. Связи между элементами структуры внутри уровня и между уровнями определяют функционирование формовочной смеси в виде целостной системы.

Элементы структурных уровней формовочной смеси различаются, прежде всего, своими размерами (табл. 21) [7].

Иерархия структур литейной формы

Размеры	$10^0; 10^{-1}; 10^{-2}$			$10^{-3}; 10^{-4}; 10^{-5}$		$10^{-6}; 10^{-7}$	
Уровень	Макро			Микро		Субмикро	
Средства изучения	Невооруженный глаз			Оптический микроскоп		Электронный микроскоп	
Элементы структуры	Слой стенок литейной формы			Зерна основы формовочной смеси		Частицы связующих добавок	
Структурные составляющие	Стенки формы			Формовочные смеси			
	Наполнительная смесь	Облицовочная смесь	Покрытие	Основа смеси Песок	Оболочки зерен, глина, пылевидный кварц		
	Оболочковые формы				Смолы		
	Жидкостекольные	Смоляные	Облицовочка кокиля	Молекулярные кристаллы		Мицеллы	

Макроуровень (от  $10^0$  до  $10^{-3}$  м) - элементами являются слои стенки формы. Наблюдение структуры уровня можно производить невооруженным глазом. В общем случае стенка формы состоит из следующих четырех слоев: опоки или кожуха, обеспечивающего прочность и возможность манипуляций с формой; наполнительной смеси, обеспечивающей жесткость формы как целого; облицовочной смеси, обеспечивающей сохранение размеров и конфигурации отливки в условиях высоких температур, возникающих при взаимодействии формы с жидким сплавом; покрытия, которое должно

обладать высокой огнеупорностью, обеспечивающего высокое качество поверхности отливки.

Элементами микроуровня (от  $10^{-3}$  до  $10^{-5}$  м) являются зерна огнеупорной основы смеси. Микроструктуру изучают под оптическим микроскопом. Расстояние между центрами любой пары соприкасающихся сфер равно их удвоенному радиусу. В неуплотненном состоянии сферы образуют рыхлую систему, в которой пористость составляет 70 % и более; в этом случае общая плотность при плотности кварцевых зерен  $2,6 \text{ г/см}^3$  будет около  $1 \text{ г/см}^3$ . Смежные сферы могут создавать многочисленные «арки».

Субмикроуровень (от  $10^{-5}$  до  $10^{-7}$  м), элементами которого являются частицы глины, связующих добавок и молекулярные кристаллы. Т.е. детали пленок связующих добавок. Изучение структуры возможно только под электронным микроскопом. Элементы субмикроуровня определяют прочность связи между зернами основы смеси, в особенности для глин и других высыхающих, затвердевающих и химически твердеющих добавок.

Для приготовления формовочных смесей, уплотняемых прессованием, используют бентонитовые молотые глины только прочносвязующей группы с низким и средним содержанием примесей. Предпочтительно использование активированных и природных натриевых бентонитовых глин, обладающих высокой связующей способностью во влажном состоянии и долговечностью. В качестве противопригарной добавки для чугунных отливок взамен пылевидного кварца желательно применять гранулированный каменный уголь или полистирол.

Для устранения хрупкости прессованных форм и поддержания влажности на требуемом уровне применяют крахмалосодержащие добавки. Поглощая большое количество воды, они предохраняет смесь от быстрого высыхания, снижают ужиминообразование и повышают формуемость.

Составы и свойства смесей для автоматических линий приведены в табл. 22, 23 [8].

Типовые песчано-бентонитовые смеси, применяемые для формовки по-сырому при изготовлении стальных  
отливок

Смесь и способ формообразования	Отливки	Состав формовочных смесей, масс. доля, %				Физико-механические и технологические свойства смесей				
		оборотная смесь	кварцевый песок	бентонит	добавки	прочность на сжатие, МПа	влажность, %	общее содержание мелочи, %	содержание активного бентонита, %	газопроницаемость. ед., не менее
Единая для автоматических пескоструйно-прессовых линий безопочной формовки типа Дисаматик	Мелкие	92-95	5-8	1,2-2,0	0,05-0,1 крахмалистые	0,17-0,21	3,1-3,5	11-13	7,0-8,0	100
Единая для автоматических линий формовки прессованием	Мелкие Средние	82-92	6-12	3,0-6,0	0,05-0,1 крахмалистые 0,01-0,03 ПАВ	0,09-1,30	3,5-4,5	10-12	5,5-7,0	120
Единая для машинной формовки встряхиванием с подпрессовкой	Мелкие Средние	88-92	5-7	2,5-4,0 бентонитовая суспензия	0,04-0,08 крахмалистые	0,05-0,07	3,5-5,0	8-10	4,5-5,5	120
Облицовочная для машинной формовки встряхиванием с подпрессовкой	Мелкие	40-80	16-53	6-10	0,01-0,03 ПАВ	0,04-0,06	3,5-4,0	8-11	4,5-5,5	100
	Средние	40-75	20-52	8-12	0,5-1,2 ССБ	0,04-0,07	4,0-5,0	10-13	5,0-6,5	120
	Крупные	40-60	33-51	10-13	1,0-1,5 ССБ	0,05-0,07	4,5-5,5	12-14	5,5-7,0	130

Типовые песчано-бентонитовые смеси, применяемые для формовки по-сырому при изготовлении чугунных  
ОТЛИВОК

Смесь и способ формообразования	Отливки	Состав формовочных смесей, масс. доля, %					Физико-механические и технологические свойства смесей					
		оборотная смесь	кварцевый песок	бентонит	молотый уголь или замена	добавки	прочность на сжатие, МПа	влажность, %	газопроницаемость, ед., не менее	общее содержание мелочи, %	содержание активного бентонита, %	потери при прокатывании, %
Единая для автоматических пескодувно-прессовых линий безопасной формовки типа Дисаматик	Мелкие	93-98	2,5-6,0	0,2-1,0	0,1-1,2	0,02-0,06 крахмал-истые	0,17-0,21	3,2-4,0	100	11-13	7,0-8,0	3,5-5,0
Единая для автоматических линий формовки прессованием	Мелкие	91-96	3,0-7,0	1,2-3,0 бентонито-угольная суспензия		0,02-0,04 крахмал-истые	0,15-0,19	3,1-3,5	100	9-12	6,0-7,0	3,0-4,0
	Мелкие Средние	88-93	6,0-10	0,5-1,5	0,5-1,0	0,01-0,03 ПАВ	0,09-0,14	3,5-4,0	120	9-12	6,0-7,0	3,5-4,5
Единая для машинной формовки встряхиванием с подпрессовкой	Мелкие	93-94	5,0-6,0	0,5-1,0	0,5-1,0	-	0,05-0,07	3,5-4,5	100	8-10	4,0-5,5	3,5-4,5
	Средние	90-95	3,0-8,0	1,0-2,5	1,0-1,5	0-0,5 мазут	0,04-0,06	3,5-4,5	100	9-11	4,5-6,0	4,0-4,5
Облицовочная для машинной формовки встряхиванием с подпрессовкой	Средние Крупные	40-75	20-50	4,0-8,0	1,0-2,0	1,0-1,5 ССБ	0,04-0,06	4,0-5,0	130	8-10	4,0-5,5	3,5-4,5

## Смеси для форм чугуновых и стальных отливок, заливаемых по-сухому

Смесь	Состав смеси, масс.						Состав смеси			
	оборотная смесь	кварцевый песок	глина низко сортная	бентонит	противоприварные добавки	технологические добавки	Прочность на сжатие во влажном состоянии, кПа	газопрооницаемость, ед.	влажность, %	прочность на разрыв в сухом состоянии, кПа
Для крупных чугуновых отливок	30-90	10-70	-	2-6	уголь, кокс до 3, ЛП до 1,5	опилки до 5	40-60	более 30	4,5-7	100-200
	30-50	50-70	5-15	-	уголь, кокс до 5, ЛП до 3	опилки 3-10, СДБ до 3	30-60	более 50	5-9	100-200
	40-70	30-60	4-7	2-4	уголь, кокс до 4	опилки,асбест 2-4, СДБ до 2	50-60	более 60	5-8	150-250
Для крупных стальных отливок	20-50	50-80	5-10	-	асбестовая крошка 4-5	СДБ до 3	30-50	более 60	5-8	250-350
	40-60	40-60	4-7	2-4	асбестовая крошка 4-5	СДБ до 2	50-60	более 60	5-7	250-350

**Смеси для формовки по-сухому.** Песчано-глинистые смеси для формовки по-сухому применяют преимущественно при получении ответственных и сложных крупных отливок. Высушенные формы должны обладать высокой прочностью.

Для отливок массой меньше 1000 кг используют кварцевые пески группы 02; для отливок массой свыше 1000 кг - пески групп 04 и 0315. При указанном способе формовки применяются каолиновые глины с высокой прочностью в высушенном состоянии и термохимической стойкостью.

Облицовочные смеси высшей огнеупорностью для производства преимущественно стальных отливок готовят, заменяя кварцевый песок огнеупорным наполнителем с особо высокими противопопригарными свойствами. Такая замена целесообразна только в том случае, если пригар неустраним более дешевыми средствами, например, с помощью противопопригарных покрытий. Смеси для формовки по-сухому представлены в табл. 24.

**Наполнительные смеси.** Несмотря на то, что наполнительная смесь не соприкасается с жидким металлом и не подвержена действию высоких температур, к ней предъявляются определенные требования.

Газопроницаемость наполнительной смеси должна быть не меньше, чем у облицовочной. Это необходимо для беспрепятственной фильтрации газов. Предел прочности на сжатие во влажном состоянии, МПа, наполнительной смеси для машинной и ручной формовки должен соответствовать следующим нормам: чугунные отливки по-сырому 0,025-0,035; то же по-сухому 0,035-0,045; стальные отливки по-сырому и по-сухому 0,030-0,040.

Использование в составе стержневых и облицовочных смесей кислых связующих и катализаторов может привести к потере прочности наполнительной смеси вследствие дезактивации глины. Это вынуждает контролировать рН наполнительной смеси и своевременно ее освежать.

Смеси для CO<sub>2</sub>-процесса включают в качестве связующего жидкое стекло. Отверждение смесей происходит при продувке углекислым газом.



При этом протекает химическая реакция, в результате которой жидкое стекло необратимо коагулирует с выделением кремнегеля.

Используют пески класса 1К или 2К зерновой группы 0315, 02. По содержанию глинистых составляющих к пескам особые требования не предъявляются, так как жидкое стекло хорошо сочетается с глиной.

Во многие жидкостекольные смеси специально добавляют глину для повышения прочности во влажном состоянии и улучшения выбиваемости после заливки. Можно использовать любые другие огнеупорные зернистые наполнители. Применяют молотую каолиновую или бентонитовую формовочную глину. Можно использовать среднесвязующие глины со средним содержанием вредных примесей. Основным связующим материалом являются жидкие содовые или содовосульфатные стекла. Используется также калиевое жидкое стекло. Каустическую соду (едкий натр) вводят обычно в смесь для регулирования величины модуля жидкого стекла. Величина модуля определяет живучесть смеси.

При изготовлении крупных литейных форм и стержней, особенно при формовке по шаблонам, модуль жидкого стекла следует снижать до 2,0-2,3. По требованиям техники безопасности каустическую соду вводят в смесь в виде водного раствора 10-20 %-ной концентрации.

Смеси для  $\text{CO}_2$ -процесса используют для изготовления стержней (табл. 25), а также в качестве облицовочных при изготовлении форм (табл. 26). Различие в составах смесей состоит в том, что в стержневых смесях чаще и в большем количестве применяют разупрочняющие добавки.

Наливные самотвердеющие смеси (НСС) «наливают» в опоки и стержневые ящики и не требуют уплотнения. Высокая текучесть смеси достигается тем, что в НСС вводят поверхностно-активные вещества (ПАВ), образующие мелкие пузырьки пены. Они снижают силы трения между отдельными зернами наполнителя и способствуют их легкому перемещению под влиянием силы тяжести.

Стержневые быстротвердеющие смеси для CO<sub>2</sub>-процесса

№ смеси	Назначение смеси	Состав смеси, % по массе					Физико-механические свойства				
		кварцевый песок	глина	жидкое стекло	10 %- ный раствор едкого натра	мазут	газо про-ницаемо-сть, ед., не менее	предел прочности, МПа			влаж-ность, %
								на сжатие во влажном состоянии	на растяжение после тепло-вой сушки	на растяже-ниепосле про-дувки CO <sub>2</sub>	
1	Изготовление стержней механизированными способами для стальных и чугунных отливок	100	-	4,0-5,5	0,5-1,5	0,5	120	0,004-0,007	1,0-1,5	0,20-0,30	3,0
2	Изготовление стержней с повышенной податливостью для отливок из стали, чугуна и цветных сплавов	94-97	3-5	4,5-6,0	0,5-1,5	-	80	0,012-0,030	0,8-1,2	0,10-0,25	3,0-4,5
3	Изготовление стержней с облегченной выбиваемостью для отливок из стали	100	-	4,0-5,0	1,0	-	80	0,005-0,007	0,5	0,18-0,22	3,3-4,2

Примечание. Кроме компонентов, указанных в таблице, смеси содержат: №2 - 1,5 % древесных опилок, 3 % боксита;

Облицовочные быстротвердеющие смеси для CO<sub>2</sub>-процесса

Отливки	Состав смеси, % по массе								Физико-механические свойства				
	обо- ротная смесь	квар- це- вый песок	пыле- вид- ный кварц	глина	жидкое стекло	10 %- ный раствор едкого натра	ка- мен ный угол ь	ма- зут	газо- прони- цае- мость, ед., не менее	предел прочности, МПа			влаж- ность, %
										на сжатие	на растя- жение по- сле теп- ловой сушки	на рас- тяжение после продувки CO <sub>2</sub>	
Мелкие чугу- ные	30-50	47-65	-	3-5	4-6	1,0-1,5	4-6	0,5	80	0,0220,030	0,5	0,2	3,0-4,0
Стальные при повышенных требованиях к качеству по- верхности	-	81-89	10-15	1-4	4-6	1,0-1,5	-	0,5	70	0,0200,040	0,6	0,2	3,0-4,5
Стальные и чу- гунные	21-30	67-74	-	3-5	4-6	1,5	-	0,5	80	0,0200,035	0,6	0,2	3,0-4,0
Из цветных сплавов	30-50	47-65	-	3-5	4-6	1,0-1,5	-	0,5	50	0,0200,040	0,6	0,2	3,0-4,0

Свежий песок можно частично заменять регенерированным при содержании в нем не более 1 % глинистых составляющих. Повышенное содержание глинистых и пылевидных фракций в песке приводит к резкому ухудшению текучести НСС вследствие большой водопоглощающей способности.

НСС с жидким стеклом. Температура песка не должна превышать 30 °С. Если песок имеет более высокую температуру, то текучесть смеси и устойчивость пены снижаются, повышается осыпаемость.

### ***Требования к смесям, свойства и методы контроля.***

***Общие свойства.*** Влажность формовочных смесей определяет уровень многих общих, технологических и рабочих свойств смесей. При недостаточном содержании влаги снижаются прочностные свойства смеси, и увеличивается ее осыпаемость. Повышенное содержание влаги также приводит к снижению прочности смесей и к увеличению их газотворности. При формовке по-сырому для смесей, уплотняемых прессованием, рекомендуется влажность 3-4 %. Для смесей, уплотняемых встряхиванием и применяемых при ручной формовке влажность обычно составляет 4,5-6,0 %.

Повышение насыпной плотности способствует выравниванию плотности по объему формы. Для песчано-глинистых смесей, уплотняемых прессованием, рекомендуется насыпная плотность 900-1000 кг/м<sup>3</sup>, для уплотняемых встряхиванием и применяемых при ручной формовке - 650-920 кг/м<sup>3</sup>.

Содержание окислов CaO, MgO, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, TiO<sub>2</sub> характеризует свойства смеси как огнеупорного материала и способность к химическим превращениям при нагревании. При пониженном содержании вредных примесей снижается пригар на отливках.

Концентрация водородных ионов рН смеси оказывает влияние на взаимодействие с жидким металлом и образование дефектов на литой поверхности. Снижение рН песчано-глинистых смесей ниже 7,5 вызывает уменьшение активности бентонитовой глины и снижение прочности смеси.

Минералогический состав смесей позволяет выявить природу примесей и ориентировочно судить о пригодности смесей для литейного производства.

*Технологические свойства.* Уплотняемость зависит от влажности, содержания глины, размеров и формы зерен леска. Повышение уплотняемости вызывает вздутие сырых форм. При низкой уплотняемости повышаются осыпаемость форм, брак по раковинам и другим дефектам поверхности отливок. При формовке по-сырому для автоматических линий рекомендуется уплотняемость песчано-глинистых смесей в пределах 35-45 %, для машинной и ручной формовки - 40-45 %.

Формуемость смесей характеризует вязкость (сыпучесть) смесей в неуплотненном состоянии. Формуемость зависит от влажности смеси. При оптимальной формуемости (70-80 %) обеспечивается равномерная предварительная плотность по объему формы.

Сыпучесть сухих песчано-смоляных смесей определяют с помощью стеклянной воронки с выходным отверстием 7 мм.

Осыпаемость смесей зависит от состава смеси и степени ее уплотнения. Высокая осыпаемость песчано-глинистых смесей наблюдается при недостатке влаги или низком качестве глины. В стержневых смесях, отверждаемых тепловой сушкой, повышенная осыпаемость наблюдается при использовании некачественного связующего, при недостаточном его количестве или пережоге в процессе сушки. В смесях для CO<sub>2</sub>-процесса повышенная осыпаемость возникает в случае избыточной продувки газом. Повышенная осыпаемость затрудняет сборку форм, вызывает их размыв и появление песчаных раковин и пригара. Осыпаемость смесей не должна превышать 0,5 %. Она характеризует способность смеси к перетеканию при различных технологических операциях: при перемешивании составляющих, заполнении технологических емкостей и уплотнении.

Текучесть предопределяет способ приготовления и уплотнения смесей. Высокотекучие песчано-глинистые смеси обладают текучестью при статическом уплотнении 75-80 %, среднетекучие - при 70 %.

Гигроскопичность формовочных и стержневых смесей зависит от их состава и в основном определяется свойствами связующих материалов. При

повышенной гигроскопичности смесей увеличиваются осыпаемость форм и стержней, брак отливок по песчаным и газовым раковинам.

Предел прочности песчано-глинистых смесей во влажном состоянии зависит от содержания активной глины, влажности, зернового состава и степени уплотнения. Недостаточная прочность вызывает разупрочнение форм, их деформацию и ухудшение качества литой поверхности. Предел прочности на сжатие во влажном состоянии наполнительной песчано-глинистой смеси составляет 0,025-0,040 МПа; единой для машинной и ручной формовки - 0,05-0,08 МПа; единой для автоматических линий - 0,15-0,22 МПа (верхний предел прочности относится к смесям для безопочной формовки). Недостаточная прочность стержневых смесей до отверждения затрудняет изготовление стержней и приводит к потере размеров вследствие осадки. Определяя нарастание прочности на сжатие, оценивают продолжительность отверждения холодно-твердеющих смесей.

Недостаточная прочность смеси на растяжение приводит к разрушению форм при извлечении моделей, транспортировке и сборке форм, что существенно отражается на надежности работы автоматических линий, предел прочности на растяжение для машинной формовки и автоматических линий следует поддерживать в пределах 0,012-0,035 МПа.

Предел прочности на сжатие и растяжение смесей в отвержденном состоянии определяют для контроля качества различных формовочных и стержневых смесей, отверждаемых тепловой сушкой, смесей для CO<sub>2</sub>-процесса, горячей оснастки и холоднотвердеющих смесей. Недостаточная прочность смесей вызывает повышенную осыпаемость и разрушение форм и стержней. При повышенной прочности снижается податливость форм и стержней, в отливках могут появляться трещины.

Прилипаемость смеси к модельной оснастке, ухудшает качество поверхности форм и стержней, увеличивает шероховатость литой поверхности, вызывает обрывы выступающих частей форм при извлечении моделей.

**Рабочие свойства.** Газопроницаемость сухих песчано-смоляных смесей определяют обычным методом. Истинная величина газопроницаемости оболочек определяется составом смеси, степенью ее уплотнения и последующей обработкой. Низкая газопроницаемость вызывает появление вскипов, газовых раковин и при уплотнении форм прессованием - взрывного пригара. Слишком высокая газопроницаемость ухудшает качество литой поверхности вследствие пенетрации расплава в поры формы. Качество смеси оценивают, сопоставляя газопроницаемость смеси с ее газотворностью.

**Огнеупорность** - свойство материала противостоять, не расплавляясь, действию высоких температур. При высокой огнеупорности формовочных смесей снижается пригар.

**Спекаемость** смесей определяется температурой начала оплавления нагреваемого формовочного материала и характеризует его противопопригарные свойства. Принятая методика определения спекаемости не воспроизводит химического и механического воздействия жидкого металла на смесь в реальной форме. Для кварцевых песков температура спекания не превышает 1400-1450 °С.

**Пригораемость** - свойство смеси плотно приставать к поверхности отливки и образовывать на литой поверхности неметаллический слой, состоящий из зерен песка и цементированной чаще всего силикатным расплавом или металлом (пригар).

Теплофизические свойства формовочных смесей зависят от температуры, природы и степени измельчения зерновой основы.

По мере увеличения размеров частиц зерновой основы теплофизические свойства формовочной смеси повышаются. Значительного изменения теплофизических свойств можно достичь, добавляя в смесь частицы со сравнительно высокой теплопроводностью, например чугунные опилки.

При повышении содержания связующих материалов (глины, жидкого стекла) увеличиваются площадь контактов между частицами зерновой основы и теплопроводность скелета формы.

## 2.16. ДЕФЕКТЫ В ОТЛИВКАХ.НЕСООТВЕТСТВИЕ ПО ГЕОМЕТРИИ

Сложность технологического процесса производства литья, состоящего из многих, практически самостоятельных и не зависящих одна от другой операций - переделов (подготовка шихты и выплавка жидкого металла, смесе-приготовление, изготовление форм и стержней, заливка, обрубка, очистка, термическая обработка, грунтовка и окраска), на каждой из которых возможны нарушения технологии и работают люди различной квалификации, не дает гарантии получения 100 % годности отливок. Брак отливок неизбежен. Он имеет место и при освоении нового технологического процесса, оборудования, новой марки сплава, а также в условиях установившегося технологического процесса при изменении качества исходных шихтовых и формовочных материалов, небрежности в работе.

В группу «несоответствие по геометрии» входят: недолив; неслитина; перекося; подутость; разностенность; коробление; вылом.

**Недолив.** Недоливом называют дефект отливки, выраженный в отсутствии ее части. Недолив может быть двух типов: истинный недолив полости формы металлом (рис. 59) или частичное вытекание металла из формы после ее заполнения. В последнем случае часть формы остается незаполненной. Дефекты первого типа (см. рис. 59) расположены обычно в наиболее удаленных от питателя частях отливки и характерны для тонкостенных отливок сложной конфигурации. Они образуются при заливке металла с недостаточной жидкотекучестью.



Рис.59.Недолив в результате недостаточной жидкотекучести (холодный металл): *а*-схема, *б*-дефектная отливка



Большое значение для получения бездефектных отливок имеет литниковая система. Необходимо обеспечить быстрое заполнение формы металлом. Особенно быстро требуется заливать тонкостенные формы.

Недоливы получаются при медленной заливке с прерыванием струи металла. Низкоквалифицированный заливщик может допустить прерывание струи металла. Струя разбрызгивается также в случае небрежного выполнения носика у заливочного ковша. Возможны недоливы и от нетехнологичности отливки, особенно в тех случаях, когда в ней имеются тонкие стенки, к которым невозможно подвести металл.

Следует отметить, что металл может вытекать из формы во время заливки или спустя некоторое время после заливки по следующим причинам: неправильное крепление опок скобами; использование «деформированных опок» или модельных плит; недостаточная прочность формовочной смеси; недостаточная толщина формовочной смеси между полостью формы и стенкой опоки; низкое качество уплотнительной пасты, глиняных шнуров и других уплотнителей; большое сечение вентиляционных каналов и др.

Брак по недоливу зависит от расположения отливок в форме. Между полостью формы и стенкой опоки должен быть определенный слой формовочной смеси.

Металл может вытекать через вентиляционные отверстия в форме или стержне. При изготовлении формы следует исключать возможность попадания металла в такие отверстия. Для предупреждения ухода металла из формы применяют специальные пасты и пластичные шнуры.

**Неслитина** - нарушение целостности отливки в виде трещины, но с закругленными и окисленными краями (рис. 60). Неслитина образуется из-за не полностью слившихся двух или более потоков металла. Дефекты возникают главным образом на тонких стенках отливки или на удаленных от питателя частях отливки, куда металл поступает окисленным и охлажденным.

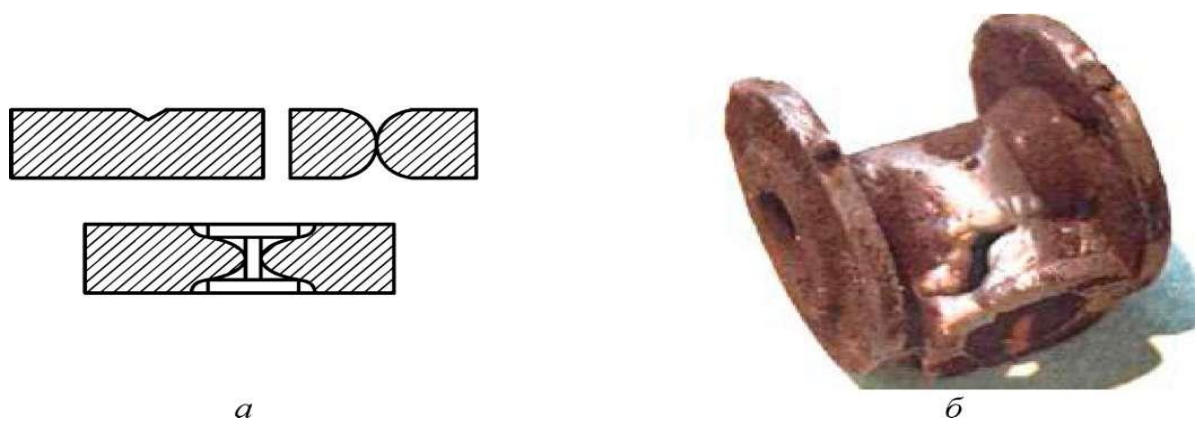


Рис. 60. Дефект - неслитина:  
 а - схема; б - дефектная отливка

Неслитина получается при малой жидкотекучести сплава. Основной путь предупреждения спая - повышение температуры заливаемого металла.

Причиной спая может быть также литниковая система. Ее размеры должны быть таковы, чтобы обеспечить быструю заливку формы. Особенно высокой должна быть скорость заполнения тонких вертикальных стенок отливки.

Дефекты от неслитины увеличиваются при использовании смесей с высокой теплоаккумулирующей способностью (хромитовые, оливиновые и др.).

Если поверхность формы покрыта толстым слоем противопригарной краски, то в процессе заливки часть слоя может отвалиться и упасть на зеркало жидкого металла. При встрече потоков эта часть формы может помешать их слиянию.

Неслитины часто наблюдаются при литье в кокили. При нагреве кокилей выше 200 °С дефекты от неслитины уменьшаются.

**Переко́с** - это дефект (рис. 61), вызванный смещением частей отливки относительно друг друга. Переко́с может быть на внешней части отливки и во внутренней полости. Отливку бракуют, если переко́с больше припуска на механическую обработку или превышает допустимые отклонения, оговоренные в технической документации.



Рис. 61. Дефект - перекося: *а* - схема; *б* - дефектная отливка

Дефект виден после очистки отливки, решение о ее пригодности принимают после определения размеров перекося.

Наиболее частыми причинами перекося являются неисправность модельной и опочной оснастки, небрежность изготовления и сборки литейной формы. Решающее значение имеет состояние фиксирующих втулок и штырей в опоках. В связи с быстрым изнашиванием необходимо периодически проверять размеры втулок и штырей и не допускать их изменения свыше предельных отклонений от принятых допусков. Штыри, с помощью которых собирают опоки, должны иметь точный диаметр и необходимую длину. Опоки с короткими штырями создают опасность перекося.

Большой перекося получается в результате неправильного изготовления модельно-стержневой оснастки или допущения ошибок при проектировании оснастки (неодинаковые базы, разные формовочные уклоны, недостаточные фиксаторы на знаках, неточность определения размеров и др.).

Неправильный выбор жеребеек или их неаккуратная установка в форме приводит к перекося. При большой массе стержня и низкой прочности формовочной смеси жеребейки может вдавиться в нижнюю поверхность полуформы. Если стержень не зафиксирован в знаках, то он может всплывать и вдавливать жеребейки в верхнюю поверхность полуформы, особенно при сы-

рой формовке. В этих случаях следует применять высокопрочные смеси или использовать жеребейки с большой опорной поверхностью.

**Подутость** - это местные утолщения в отливке, расположенные преимущественно в нижних по положению заливки или слабо уплотненных местах формы (рис. 62).

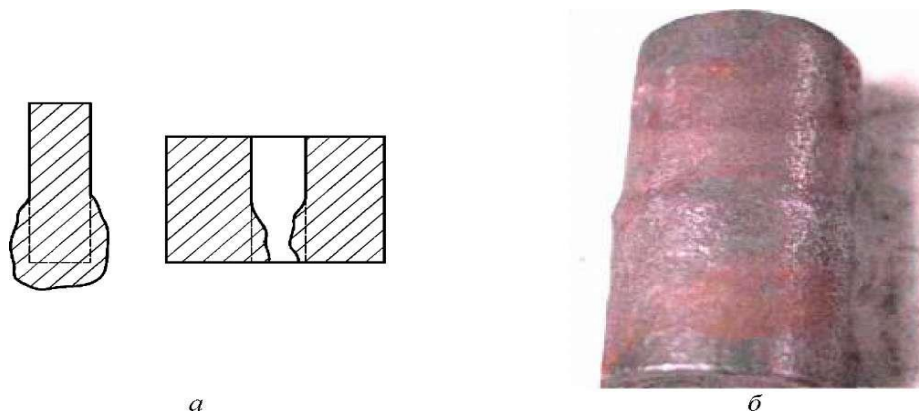


Рис. 62. Дефект - подутость: *а* - схема; *б* - дефектная отливка

Попадающий в форму металл оказывает на нее тепловое и силовое воздействие (металлостатическое давление), в результате чего смесь уплотняется. Кроме того, под действием металлостатического давления поверхностная сухая корочка, образующаяся в сырой форме, деформируется и перемещается в направлении ослабленной зоны конденсации влаги. Такие явления вызывают значительное увеличение полости формы, особенно в нижней ее части, где действует максимальное металлостатическое давление.

В последние годы все более широко применяется уплотнение форм различными методами прессования при повышенных давлениях. Образование в форме ослабленной зоны конденсации приводит к тому, что даже при давлении прессования 4 МПа отливки получаются с подутостью. Форму следует уплотнять так, чтобы и после ее разупрочнения в результате образования зоны конденсации влаги она противостояла силовому воздействию металла в период заливки и затвердевания расплава без существенной деформации.

Уменьшению брака по подутости способствует повышение степени уплотнения формы, уменьшение относительного количества влаги в формовоч-

ной смеси, введение в формовочную смесь молотого угля, пека, хорошее перемешивание смеси.

**Разностенность**- дефект в виде увеличения или уменьшения толщины стенок отливки (рис. 63). Основными причинами несоответствия размеров отливок, получаемых в песчано-глинистых формах, являются недопустимые отклонения в размерах модельного комплекта, изменение размеров и формы моделей и стержневых ящиков в результате износа и деформаций в процессе эксплуатации; деформации формы и стержней при сушке; неточность сборки формы; повреждение полости формы при извлечении модели или установке стержня; нарушение размеров полости формы или заливке металлом, колебания усадки сплава и ее торможение формой: коробление отливки при охлаждении и термической обработке; механические повреждения при выбивке, обрубке, очистке и транспортировке.



Рис. 63. Дефект - разностенность: *а* - схема; *б* - дефектная отливка

Для предупреждения несоответствия размеров отливок по вине модельной оснастки, последнюю перед запуском в производство необходимо тщательно проверять. Обязательна проверка первой партии отливок, полученных по новой оснастке. Искажение размеров, обусловленное неточностью монтажа модели на подмодельной плите, составляет в среднем  $\pm 0,15$  мм и зависит от способа фиксации моделей на плитах.

Неточная сборка комплекта стержней или формы вызывает искажение размеров отливки.

**Короблением**- дефект в виде искажения конфигурации под влиянием напряжений, возникающих при охлаждении, а также из-за неправильной модели (рис. 64).

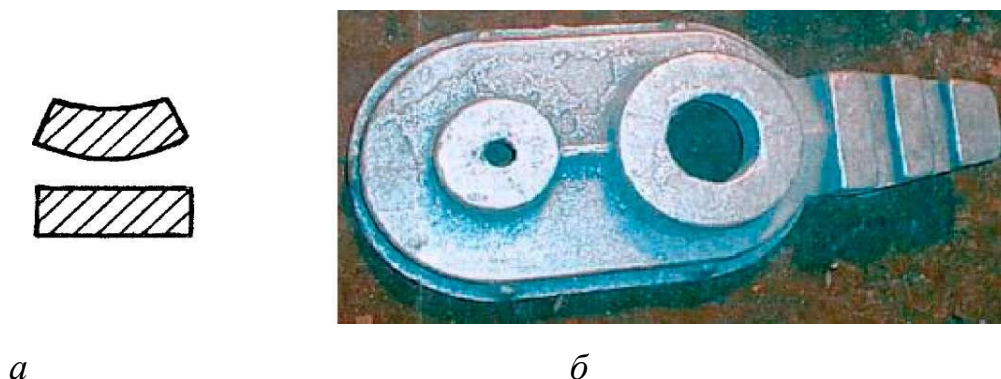


Рис. 64. Дефект - коробление: *а* - схема; *б* - дефектная отливка

Данный тип дефекта возникает из-за нетехнологичности отливки; ранней выбивки отливки из формы; неравномерного охлаждения отливки в форме; неправильной укладки отливок при термообработке или нарушении ее режима; применения дефектной модельной оснастке (коробление моделей); недостаточной податливости стержней и отдельных частей формы.

Для устранения коробления необходимо не допускать резких переходов сечений сопрягаемых стенок отливки, использовать в конструкции отливки ребер жесткости, галтелей и технологических отверстий, изготавливать модели с обратным выгибом; не допускать преждевременной выбивки отливок из формы; изменить конструкцию литниковой системы так, чтобы обеспечить равномерное охлаждение различных частей отливки (применять подвод металла в тонкие части отливки, рассредоточенную литниковую систему); применять холодильники для обеспечения равномерности охлаждения частей отливки; не допускать свешивания больших частей отливок, применять опорные приспособления, укладку производить партиями с одинаковой толщиной стенок отливки; проводить термическую обработку для снятия внутренних напряжений отливок; хранить модель в сухом закрытом помещении на специальных стеллажах, усилить жесткость моделей; не применять в работе поко-



робленные модели; не допускать переуплотнения формы (стержня), контролировать плотность набивки.

**Вылом** - механическое повреждение, нарушение целостности отливки, не связанное с процессом ее затвердевания в форме (рис. 65). Наиболее часто механические повреждения возникают при выбивке, обрубке и очистке отливок. При этом может произойти вылом части тела отливки, образование трещин, искривление и т. д.

Механические повреждения отливок могут быть вызваны преждевременной выбивкой отливок из форм, когда сплав не обладает достаточной прочностью. В этом случае при ударах и сотрясениях затвердевшие литники откалываются вместе с менее прочными горячими участками отливки.



Рис. 65. Дефект - вылом: *а* - схема; *б* - дефектная отливка

Механические повреждения (обычно трещины) возникают при обрубке и правке деталей в штампах на механических прессах.

Прибыли и литники следует удалять до отжига отливок, так как после отжига отбить их значительно труднее и опасность появления механических повреждений больше. Достаточно массивные прибыли рекомендуется выполнять легкоотделяемыми, для чего между ними и отливкой устанавливают специальные керамические пластины.

Отливки следует выбивать из форм после полного их затвердевания. Для предупреждения механических повреждений рекомендуется перед выбивкой отливки подсекать (удалять) залив расплава около литниковой воронки.

**Пригар**- это слой на поверхности отливки, состоящий из оплавившихся частиц формовочных материалов, пропитанных основным сплавом, окислами его компонентов и продуктами их взаимодействия с составляющими формовочной смеси (рис. 66).



Рис. 66. Дефект - пригар: *а* - схема; *б* - дефектная отливка

Пригар, образующийся на поверхности отливки, может быть вызван двумя причинами: проникновением металла в поры стенок формы, т. е. в пространство между зёрнами песка, в результате чего образуется металлический скелет, прочно удерживающий зёрна (механический пригар); спеканием и химическими реакциями образующейся на поверхности металла окисной пленки с формовочным материалом (химический пригар).

Первый процесс усиливается высоким напором металла и высокой жидкотекучестью металла, которая, в свою очередь, зависит от температуры заливки. Это объясняется проникновением металла в поры действием капиллярных сил.

Глубина проникновения возрастает с увеличением размеров зёрен и напора металла. Металл проникает преимущественно в крупные поры, которые затем расширяются за счет пор меньших размеров. Находящиеся в поверхностном слое формы зёрна песка спекаются в большей или меньшей степени в зависимости от температуры заливки и состава формовочного материала.

Спекшийся слой силикатов, особенно при высоких температурах может вызвать образование прочного пригара. Чем больше плотность набивки формы,



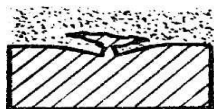
т.е. чем прочнее форма, тем в меньшей степени происходит пригар. Наибольшей стойкостью против пригара обладает смесь крупнозернистого песка с более мелким. В этом отношении особое значение имеет состав смеси.

Чем больше глины или бентонита содержит сырая формовочная смесь, тем более неровной будет поверхность отливки. Аналогичное влияние оказывает также вода.

При низкой температуре заливки и коротком периоде воздействия жидкого металла на стенку формы поверхность отливки будет тем более гладкой, чем мельче будут зерна песка. Поэтому при изготовлении тонкостенных отливок из сплавов, имеющих относительно низкую температуру плавления, следует применять мелкозернистый песок.

На поверхности зерен песка, соприкасавшихся с жидким металлом, образуется покрытие различной толщины. Это покрытие снижает температуру спекания песка. Крупные сухие формы и стержни защищают от пригара покрытием их формовочной краской.

**Ужимина**- дефект в виде углубления с пологими краями, заполненного формовочным материалом и прикрытого металла, образовавшаяся вследствие отслоения формовочной смеси при заливке (рис. 67). В зависимости от условий образования ужимины могут иметь вид неглубоких вытянутых канавок или впадин, тонких плоских, неправильной формы наростов, сопровождающихся значительными песчаными включениями. Иногда образуются ужимины, в которых отсутствует прослойка формовочной смеси, удалить их весьма трудно.



*а*



*б*

Рис. 67. Дефект - ужимина: *а* - схема; *б* - дефектная отливка

В процессе заливки поверхностные слои формы быстро высыхают, а испаряющаяся из них влага перемещается в менее прогретые слои формы, где конденсируется, образуя малопрочную зону со значительно повышенной (по сравнению с первоначальной) влажностью и температурой около 100 °С. Существенной особенностью этой зоны является резко выраженная граница. Условно эту зону принято называть зоной конденсации влаги. С увеличением длительности воздействия тепла жидкого металла зона конденсации удаляется от поверхности вглубь формы, а температура поверхности формы и расстояние от нее до зоны конденсации влаги быстро возрастают.

Формовочные смеси при нагреве расширяются. Кроме того, при температуре 573 °С изменяется кристаллическое строение кварцевого песка, сопровождающееся дополнительным увеличением объема. Расширение формовочных и стержневых смесей при их нагреве расплавленным металлом сопровождается линейными и объемными изменениями.

В начальный период прогрева поверхностных слоев формы вследствие теплового расширения зерна песка стремятся выдавить разделяющие их связующие в поры формы. Кроме того, органические связующие выгорают, освобождая межзеренные прослойки. В этом периоде внешние размеры рабочей полости формы практически не увеличиваются. В последующий период нагрева поверхностные слои формы (или стержня) расширяются. Свободному расширению этих слоев формы препятствуют соседние участки формы, и в поверхностной корке возникают сжимающие температурные напряжения.

Под действием этих напряжений возможно отслоение и разрушение поверхностной корки формы вдоль зоны конденсации влаги. В результате первоначальная геометрия полости формы искажается. Заполняющий форму металл воспроизводит все нарушения целостности формы, что приводит к возникновению на поверхности отливки дефектов, называемых ужиминами.

Формы и стержни, обгоревшие при сушке, всегда являются причиной образования ужимин. Поэтому следует избегать применения форм с заделан-

ными трещинами, обломанными частями, так как это может лишь усилить образование ужимин.

Система питателей должна быть устроена таким образом, чтобы металл заливал форму равномерно. Надежным средством предупреждения отделения отслоений на стенке формы является создание в форме давления во время заливки. Это достигается тем, что входные отверстия стояков, по крайней мере, в начале заливки, держат закрытыми глиняными пробками.

**Нарост**- дефект в виде выступа произвольной формы, образовавшийся из-за загрязнения формовочными материалами металла вследствие местного разрушения (обвала) литейной формы (рис. 68).

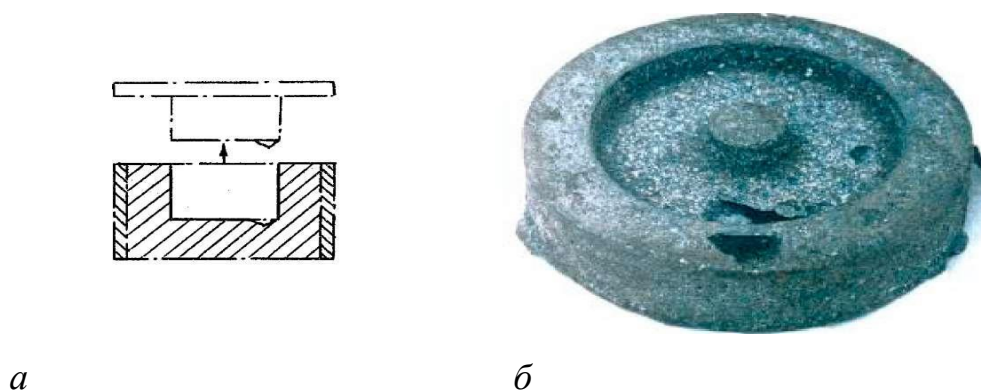


Рис. 68. Дефект - нарост: *а* - схема; *б* - дефектная отливка

При обвале крупных участков форм и стержней значительно искажаются размеры и конфигурация всей, отливки. Подобное разрушение является причиной нароста. Металл заполняет разрушенные, отвалившиеся участки формы, а на отливке образуются характерные приливы, по внешнему виду соответствующие отвалившимся участкам формы. Причиной разрушения отдельных участков формы и образования обвалов часто является недостаточная прочность формовочной смеси на разрыв. Под действием собственного веса уплотненной смеси в верхнем болване возникают растягивающие напряжения, достигающие максимального значения у основания болвана. При недостаточной прочности формовочной смеси на разрыв такой болван может оторваться при транспортировке форм под заливку, различных толчках и дру-

гих внешних воздействиях на собранную форму. В результате в отливке образуется нарост.

В процессе многократных заливок даже при введении оптимального количества освежающих добавок и при постоянной прочности на сжатие, прочность на разрыв находящихся в обороте формовочных смесей резко падает. Это создает условия для местных разрушений формы и образования дефектов отливок-наростов. Следовательно, проверка прочности на разрыв формовочных смесей дает наиболее достоверные сведения о возможности возникновения обвалов. Наиболее часто причиной обвалов являются различные нарушения технологического процесса формовки и сборки форм: неправильная установка груза на собранную форму; недостаточное количество крючков, солдатиков и шпилек при мелкосерийном производстве отливок; использование покоробленных опок, опок с дефектами рабочей поверхности и крестовин; неисправная работа подъемных и вытяжных механизмов формовочных машин, приводящая к образованию в форме разрывов и трещин; неисправности подъемно-транспортных механизмов; применение неисправных крепежных приспособлений и т.д.

Готовые формы и стержни необходимо тщательно контролировать. Ремонт и заделку поврежденных участков следует выполнять с особой тщательностью и соблюдением максимальной осторожности. При скреплении или нагружении полуформ следует избегать ударов и толчков.

## **2.17. ДЕФЕКТЫ В ОТЛИВКАХ. НЕСПЛОШНОСТИ В ТЕЛЕ ОТЛИВКИ**

Группа «несплошности в теле отливки» относится к самому сложному разделу литейной технологии. В ее состав входят: разновидности трещин в отливках; газовые раковины; усадочные раковины.

**Горячие трещины.** Основной причиной образования наружных горячих трещин являются силы сопротивления усадке отливок, создаваемые формой или возникающие вследствие разницы в скоростях охлаждения отдельных частей отливки (рис. 69).

При охлаждении залитого в форму металла у стенок образуется тонкая корочка твердой фазы, из которой внутрь жидкого металла начинают прорастать дендриты. Вокруг них располагаются пленки остаточного жидкого металла, глубоко заходящие в связи между кристаллами и образующие острые надрезы.



Рис. 69. Дефект - горячая трещина: *a* - схема; *б* - дефектная отливка

При возникновении в корочке напряжений вследствие торможения усадки формой или смежными элементами отливки наружная корочка, имеющая гораздо более низкую температуру, чем слой дендритов, пластически растягивается, а скелет дендритов, имеющий надрезы в виде глубоко проникающей в него жидкой фазы и лишенный из-за высокой температуры пластических свойств, дает трещину.

По мере нарастания твердой корки в зависимости от величины затрудненной усадки трещина выходит на поверхность отливки или на отдельных участках остается под коркой металла.

Горячие наружные трещины - это поверхностные или сквозные разрывы тела отливки, имеющие неравномерную ширину и извилистый характер. Располагаются перпендикулярно оси напряжений, иногда в виде нескольких параллельных между собой надрывов. Излом трещин межкристаллитный, темный, покрытый слоями окислов; иногда на нем обнаруживаются дендриты. Такие трещины частично или полностью завариваются жидким металлом из

незатвердевших внутренних частей отливки. В этом случае на поверхности отливки над трещиной образуется гребень затвердевшего металла

Основными факторами, влияющими на образование горячих наружных трещин на отливках, являются: свойства литейной формы (податливость, теплоаккумулирующая способность смеси); условия заливки металла в форму (температура, длительность, место подвода металла); конструкция отливки; химический состав стали.

Создание достаточной податливости формы в процессе линейной усадки отливки является классическим способом устранения горячих трещин. Однако переход к смесям на жидком стекле, резко поднявший производительность стержневых работ, создал большие трудности в обеспечении свободной усадки отливок.

В борьбе с горячими трещинами, возникающими в районе тепловых узлов отливки, эффективным является использование специальных теплоаккумулирующих смесей на основе хромита с металлической дробью.

При изготовлении массивных толстостенных отливок температурный режим часто не оказывает решающего воздействия на величину и количество наружных горячих трещин.

Скорость заливки формы также не оказывает решающего влияния на трещинообразование. Малая теплоаккумулирующая способность формовочных смесей, по сравнению с металлическими изложницами, применяемыми при изготовлении слитков, не обеспечивает достаточно быстрый рост корочки металла, способного сопротивляться ферростатическому давлению жидкого металла.

Существующая тенденция применения минимально возможной температуры заливки толстостенных массивных отливок не всегда оправдана, поскольку создает угрозу замораживания стопора разливочного ковша. При назначении нижнего предела температуры заливки для массивных отливок следует руководствоваться условиями надежной работы стопоров, а верхний предел определится возможностями применяемых смесей.

Для тонкостенных отливок целесообразно применение высокотемпературной заливки исходя из условий хорошей заполняемости форм. Для этих отливок наиболее выгодным является рассредоточенный подвод металла в тонкие части большим количеством питателей, исключающий вероятность образования трещин.

Конструкция литого изделия определяет степень развития усадочных напряжений и может способствовать или препятствовать зарождению и развитию горячих трещин. Сочетание в конструкции тонких стенок с массивными узлами, резкие переходы от тонких частей отливки к массивным, наличие на стенках выступающих приливов и патрубков, недостаточно плавное сопряжение элементов конструкции - все это значительно облегчает условия образования трещин.

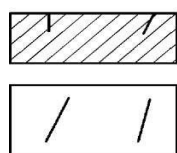
Наружные горячие трещины в стальных отливках возникают и развиваются преимущественно по границам первичных кристаллов. На их возникновение существенное влияние оказывают содержание различных элементов металла и технология плавки.

Снижение серы в сталях до 0,010-0,015 % во всех случаях оказывает положительное влияние на качество отливок. При более высоком содержании серы в интервале температур 1368-988 °С происходит ее выделение из раствора в виде жидкой фазы, ослабляющей границы зерен.

**Холодные трещины.** Холодными трещинами обычно называют нарушения сплошности тела отливки, возникающие вследствие развития литейных напряжений (термических, фазовых и усадочных) при переходе из области пластических деформаций в область упругих (рис. 70).

Холодные трещины - это разрывы тела отливки, имеющие равномерную ширину. Поверхность излома - мелкозернистая, блестящая или покрытая цветами побежалости.

По интервалу температур образования к холодным трещинам следует отнести и трещины, встречающиеся в классификациях под названием «раскол» и образующиеся в результате случайного механического повреждения.



*а б*

Рис. 70. Дефект - холодная трещина: *а* - схема; *б* - дефектная отливка

В энергомашиностроении холодные трещины чаще всего возникают в чугунных и стальных отливках замкнутой формы, с большим различием толщин стенок при недостаточной толщине ребер жесткости. Причинами образования этого дефекта могут явиться плохая податливость стержней, наличие массивных литых каркасов, заливки и другие факторы.

**Газовые раковины.** По причине возникновения газовые раковины можно разделить на металлургические и технологические. Первую группу образуют газы, расположенные в жидком металле. Технологическую группу дефектов составляют источники газов, связанные с технологией литейной формы. Из технологических факторов, вызывающих появление газовых раковин на отливках, определяющими являются следующие: неудовлетворительный вывод газов из стержней и форм; низкокачественные исходные материалы для изготовления смесей и красок; некачественная сушка формы и стержней; неправильно выполненная литниковая система; неправильный режим заливки формы.

Внешний вид и расположение газовых раковин на отливке зависят от перечисленных факторов.

По форме газовые раковины получались двух типов: шаровидные с размерами от 2 до 15 мм (часто сопровождаемые корольками) и округлые, вытянутые. Длина последних в некоторых случаях достигает 600 мм, ширина - 20 мм, глубина - 30 мм. Полости этих раковин заполнены «языками» металла,



имеющими гладкую блестящую поверхность, покрытую тонким слоем окислов железа и соединенных с металлом отливки у основания (рис. 71).

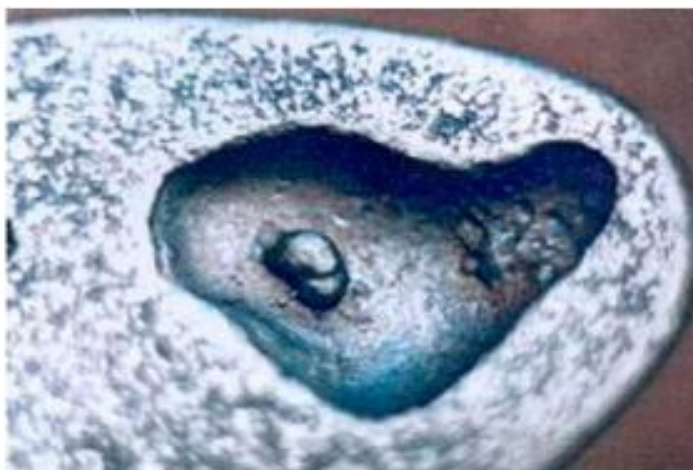


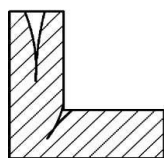
Рис. 71. Дефект - газовая раковина: дефектная отливка

Поверхность газовых раковин может быть окисленной (черной, темно-коричневой или бурой), и не окисленной (светлой). В обоих случаях встречаются раковины с гладкой или шероховатой поверхностью. Гладкая поверхность характерна для газовых раковин небольших размеров.

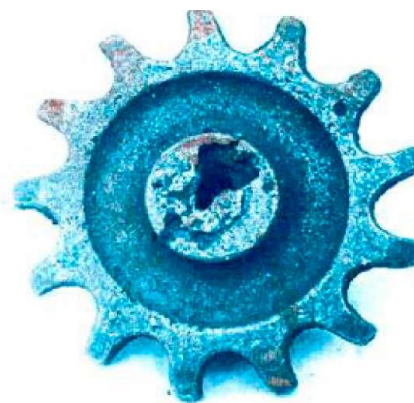
Газовые раковины с окисленной поверхностью возникают в результате инжекции воздуха через литниковую систему или из-за недостаточной величины выпоров. В последнем случае воздух не успевает выходить из полости формы и захлестывается металлом. Причиной возникновения светлых газовых раковин может быть некачественное изготовление центрального стержня.

**Усадочные раковины и усадочная пористость** являются нарушением сплошности металла, резко снижают гидравлическую плотность отливок и могут стать причиной развития трещин в процессе эксплуатации изделия.

Усадочные раковины (рис. 72) представляют собой внутренние полости неправильной формы с шероховатой, часто дендритной поверхностью, сосредоточенные преимущественно в верхних, затвердевающих в последнюю очередь частях отливок.



*a*

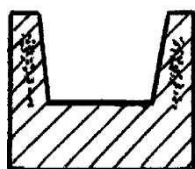


*б*

Рис. 72. Дефект - усадочная раковина: *a* - схема; *б* - дефектная отливка

В большинстве случаев они имеют форму сужающейся книзу воронки с окисленной поверхностью, которая продолжается в виде отдельных замкнутых полостей. Усадочные раковины могут быть открытыми и замкнутыми. К ним относятся газоусадочные раковины типа утяжин, располагающиеся обычно вблизи внутреннего узла или углубления и не обязательно в верхней по заливке части отливки.

Разновидностью усадочных раковин является усадочная пористость (рис. 73), в частности, осевая усадочная рыхлота. Основным способом борьбы с усадочными раковинами является осуществление принципа направленного затвердевания отливки, а также улучшение литейной технологичности отливок.



*a*



*б*

Рис. 73. Дефект - усадочная пористость: *a* - схема; *б* - дефектная отливка

**Шлаковая раковина.** Дефект в виде полости, полностью или частично заполненной шлаком (рис. 74). Возникает из-за попадания шлака в форму во время заливки; неправильного расчета и конструкции литниковой системы и низкой вязкости шлака.

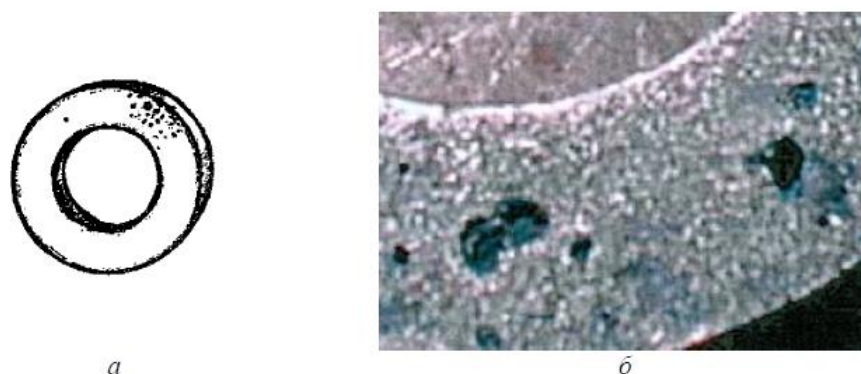


Рис.74.Дефект-шлаковая раковина: *а*-схема, *б*-дефектная отливка

Для устранения шлаковой раковины необходимо тщательно очищать ковш от остатков предыдущей плавки; при заливке применять чайниковые или стопорные ковши или сгущать шлак; проверять расчет литниковой системы; применять литниковые системы с шлакоуловителем, питатели расширяющегося типа для отливок из стали; литниковые чаши, обеспечивающие задержку шлака; фильтровальные сетки в литниковой системе.

**Несоответствие по структуре (отбел).** Дефект в виде твердых, трудно поддающихся механической обработке мест в различных частях отливки из серого чугуна, вызванных скоплением структурно свободного цементита (рис.75).

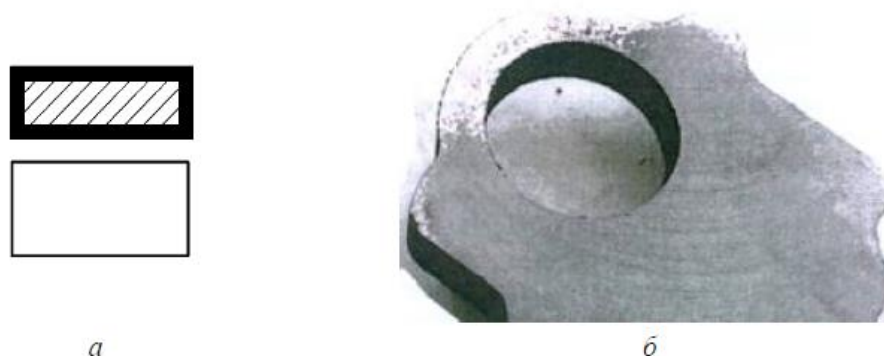


Рис.75.Дефект-отбел: *а*-схема, *б*-дефектная отливка

Возникает из-за несоответствия химического состава чугуна; низкой температуры заливаемого металла; низкой температуры металлической формы (кокиля) перед заливкой; высокой влажности формовочной или стержневой смеси; неправильного подвода металла к отливке; не проведения термической обработки отливок или нарушения ее режимов.

Для предупреждения дефекта необходимо выдерживать содержание кремния, фосфора и углерода в жидком чугуне в пределах требования ГОСТа, применять раскислители; контролировать температуру заливки термопарой погружения или оптическим пирометром; подогреть кокиль перед заливкой до 250-300 °С; уменьшить содержание влаги до минимума, выдержать формы до заливки их металлом; изменить конструкцию литниковой системы, металл подводить в тонкие части отливки для выравнивания скорости охлаждения; проводить термическую обработку для снятия внутренних напряжений отливок.

## **2.18. КАЧЕСТВО ЛИТЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ**

В большинстве случаев качество литых поверхностей доводится до требуемой нормы тем или иным способом механической обработки. Поэтому, если неудовлетворительная структура литого металла или недостаточная плотность отливки обычно приводят к ее забракованию, то низкое качество ее поверхности вызывает лишь затраты на дополнительную обработку. Только в том случае, если затраты на такую обработку будут превышать стоимость повторного изготовления отливки (что бывает, например, при большом пригаре), последняя бракуется.

***Поверхность с пригаром.*** Пригар обычно определяют как неметаллический слой, состоящий из зерен песка, сцементированных либо металлом после его затвердевания (механический пригар), либо неметаллическим расплавом, полученным в результате взаимодействия окислов металла и материалов формы (химический пригар). Из этого определения следует, что в основу классификации пригара (механический, химический) положено его строение.

В процессе заполнения формы расплавом, затвердевания и охлаждения отливки происходит повышение температуры и изменение состояния, состава и свойств формовочной смеси. При этом компоненты сплава взаимодействуют с компонентами материала формы и атмосферой, вступают в химические реакции, сплав выделяет и поглощает газы, оказывает силовое воздействие на стенки формы (размывает, сжимает элементы формы), проникает в поры формы и т.д. В результате указанных процессов в отливках образуются дефекты, ухудшающие качество поверхности отливок.

Образование пригара обусловлено проникновением сплава в поры формы под действием капиллярных сил и давления металла на стенки формы. Проникновение расплава в поры формы является первой стадией процесса образования пригара, а второй его стадией является химическое взаимодействие окислов металла, содержащихся в расплаве (окислов железа и легирующих элементов), и окислов, содержащихся в формовочных материалах. Химическое взаимодействие расплава и формы усиливает проникновение металла в поры формы [2].

Проникший в форму сплав начинает интенсивно окисляться. Образовавшиеся окислы железа активно взаимодействуют с составляющими формовочной смеси, и образуются легкоплавкие соединения. Они хорошо смачивают зерна песка и основной сплав. Под действием металлостатического напора и капиллярных сил жидкие легкоплавкие соединения и расплав внедряются вглубь формы по мере ее прогрева, скрепляя зерна песка и образуя слой трудноудаляемого пригара. Химическое взаимодействие сплава с формой может продолжаться и после его затвердевания вплоть до температур 600-800 °С.

Под действием высокой температуры изменяются свойства кварцевого песка и глины в поверхностных слоях формы, происходит их спекание и оплавление. Одновременно наблюдается химическое взаимодействие окислов металла и формовочного материала, приводящее к возникновению минералов и образованию в форме зоны, называемой контактной (рис. 76).

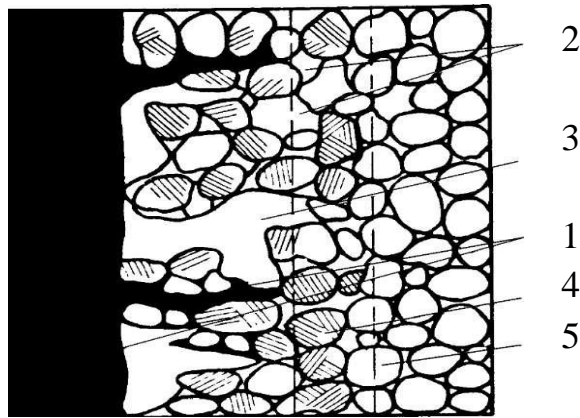


Рис. 76. Строение контактной зоны: 1 - отливка и сплав, проникший в поры или трещины формы; 2 - поры; 3 - новообразования; 4 - видоизмененные зерна песка; 5 - малоизмененные зерна песка

В общем случае эта зона состоит из трех слоев. В первом слое глубиной до 1020 мм наблюдаются прожилки проникшего в форму сплава 1, растрескавшиеся зерна песка 4, легкоплавкие продукты химических реакций (новообразования) 3, поры 2. Заметно частичное спекание формовочной смеси. Во втором слое, обычно более светлом, заметны растрескавшиеся и оплавившиеся зерна песка 4, отдельные очаги новообразований 3. Глубина слоя достигает 15-30 мм, а при литье очень крупных отливок 50-60 мм. В третьем слое зерна песка 5 почти не изменяются, происходит оплавление лишь отдельных из них, а также легкоплавких частиц, присутствующих в формовочной смеси.

Пригар характеризуется прочным сцеплением зерен формовочной смеси между собой и с металлом. Механический пригар - это охватывание зерен смеси проникшим расплавом. Прочное сцепление химического пригара с отливкой объясняется наличием прослойки соединений, обладающих хорошим сцеплением с металлом и частицами смеси.

Сила сцепления пригара с отливкой при комнатной температуре определяется соотношением величин существующего между ними сцепления и напряжений на границе сплав - пригар. Напряжения на границе сплав - пригар возникают вследствие разницы коэффициентов линейного расширения этих

материалов. Если эти напряжения превысят силы связи, то пригар может легко отделиться.

Обычно химический пригар прочно удерживается на поверхности отливки. Однако если в состав формовочной смеси ввести сильные окислители, например марганцевую или железную руду, то на границе раздела пригара и отливки образуется относительно толстый слой малопрочных окислов. **Мероприятия, предупреждающие образование пригара.** Для предотвращения механического проникновения расплава в поры формы необходимо, чтобы давление расплава было меньше критического, и температура на поверхности формы была ниже температуры затвердевания сплава.

Ускоренное образование на поверхности отливки затвердевшей корочки, предотвращающей механическое проникновение металла в поры формы, достигается использованием облицовочных смесей с повышенной охлаждающей (теплоаккумулирующей) способностью. В табл. 27 приведена теплоаккумулирующая способность некоторых смесей для стального литья.

Таблица 27

Смесь	Теплоаккумулирующая способность, ккал/м <sup>2</sup> ч град
Песчано-глинистая	20-25
Песчано-маршалитовая	30-35
Быстротвердеющая	28-30
Быстротвердеющая с пылевидным кварцем	32-34
Хромомагнетитовая	40-55
Цирконовая	50

Замена в формовочных смесях кварцевого песка хромомагнетитом или цирконом такого же зернового состава, но имеющими более высокую охлаждающую способность, уменьшает механический пригар и снижает глубину проникновения расплава примерно вдвое.

При отливке деталей из специальных сталей или в особо тяжелых условиях для предотвращения пригара используют специальные холодильники и различные охлаждающие устройства.

Уменьшение величины пор в формовочной смеси при применении мелкозернистых песков или среднезернистых песков с добавкой мелких фракций, а также при увеличении степени уплотнения формовочной смеси повышает критическое давление и уменьшает глубину проникновения расплава в поры формы (рис. 77). Повышение давления прессования до 1 Па при уплотнении формы наиболее эффективно для снижения проникновения металла; дальнейшее повышение давления прессования уже не вызывает заметного уменьшения глубины проникновения металла.

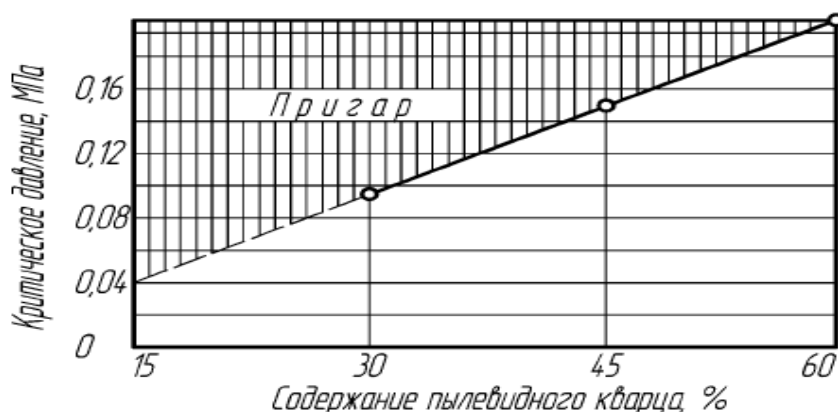


Рис.77. Изменение критического давления с уменьшением пористости формы при введении в формовочную смесь пылевидного кварца

Для предотвращения или снижения интенсивности химической стадии образования пригара следует, прежде всего, уменьшать окисленность расплава. Для уменьшения окисленности до попадания расплава в полость формы и в процессе заливки следует тщательно его раскислять, уменьшать контакт расплава с атмосферой, вводить в состав формовочных смесей специальные органические добавки, способствующие созданию в форме восстановительной атмосферы, и т.д. Восстановительная атмосфера в форме должна создаваться с момента попадания в нее первых порций расплавленного металла и сохраняться до окончания процесса взаимодействия окислов металла и формы.



Основным способом предупреждения пригара, особенно на крупных отливках, является нанесение на поверхность формы специальных противопопригарных покрытий - литейных красок и паст на основе огнеупорных материалов. Покрытия создают на поверхности формы плотную, прочную и огнеупорную корку, препятствующую проникновению жидкого расплава в стенки формы. Противопопригарное действие красок на основе материалов с высокой теплоаккумулирующей способностью объясняется образованием ими плотного барьера, препятствующего проникновению расплава. В качестве огнеупорного материала в красках используют аморфный и кристаллический графит, циркон, маршалит, корунд и др.

Эффективным средством предотвращения пригара стальных отливок, не имеющих крупных тепловых узлов, являются противопопригарные пасты. В качестве основы противопопригарных паст используют хромомagneзит, металлургический магнезит, хромистый железняк, циркон. Пасту наносят на слегка увлажненную поверхность формы слоем толщиной 1,5-4,0 мм и разравнивают смоченной в воде кистью.

Один из путей получения чистой поверхности отливок - искусственное создание на поверхности формы вязкой пленки, препятствующей проникновению кислорода и закрывающей поры смеси. Это достигается введением в формовочную смесь 0,2-2,0 % веществ, образующих с ней при нагревании вязкие легкоплавкие шлаки. К таким добавкам относятся щелочь, жидкое стекло, подмыленный щелок, апатитовая руда и др. Смеси с этими добавками можно применять многократно.

### **2.19.Получение отливок с чистой поверхностью.**

*При формовке по-сырому.* Формовку по сырому применяют при изготовлении мелких и средних отливок как в единичном, так и массовом производстве. Обычно по-сырому получают отливки массой не более 500 кг, а в массовом производстве большей частью до 200 кг.

При выборе составов формовочных смесей для формовки по-сырому первостепенное внимание следует обращать на достижение достаточной прочности форм, качества песка, содержание в смеси глины, противопригарной добавки и воды.

Обычно при формовке по-сырому в серийном производстве на формовочных машинах или автоматических линиях применяют единые формовочные смеси, в которых преобладающей составляющей является отработанная смесь, т.е. важнейшей задачей является предварительная ее подготовка. Накопление в отработанной смеси дезактивированной глины, золы, угольной пыли, щелочных и щелочно-земельных и других примесей увеличивает пригар на отливках, поскольку взаимодействие окислов железа происходит в первую очередь с этими примесями и глиной. Чем выше содержание примесей в песке, тем ниже огнеупорность смеси и тем интенсивнее происходит взаимодействие смеси с металлом, а поэтому пригар на отливках больше.

Глина также ухудшает текучесть формовочной смеси, уплотняемость и вследствие этого качество поверхности форм и отливок. В массовом производстве при формовке по-сырому с целью уменьшения содержания глины в формовочных смесях все чаще применяют активированные бентониты вместо каолиновых глин. Это позволяет достичь необходимой прочности смеси при меньших расходе глины и влажности (до 3 %) и тем самым улучшить качество поверхности отливок.

При формовке по-сырому влажность форм должна быть минимальной, чтобы испарение влаги во время заливки и контакта с жидким металлом было спокойным и не привело к отслаиванию смеси и образованию дефектов в отливках. В настоящее время изготавливают формы прессованием высоким давлением при влажности 2,0-3,5 %.

Для приготовления формовочных смесей с высокими физико-механическими свойствами при минимальной влажности необходимо высокоэффективное смешивающее оборудование [4]. Желательно и дальнейшее снижение влаги в смесях. Поэтому для формовки по-сырому желательны смеси

с бентонитом, не содержащие воды и имеющие высокие противопопригарные свойства.

Значительно снижается образование пригара при добавке в смесь пылевидного кварца (20-30 %), цирконовой муки, графита и др. Эффективность действия противопопригарной добавки очень сильно зависит от ее концентрации в поверхностном слое. При вводе противопопригарных добавок в формовочную смесь при ее приготовлении расход добавок большой. Поэтому часто вместо единых смесей применяют облицовочные с большим содержанием противопопригарной добавки. С этой же целью при изготовлении форм на автоматических линиях рекомендуют наносить жидкие противопопригарные добавки только на поверхность формы [8].

***При формовке по-сухому.*** Поскольку формовку по-сухому применяют для получения всех отливок массой свыше 200-500 кг, способы предотвращения пригара на них могут быть самыми различными в зависимости от состава сплава, массы и толщины отливки, предъявляемых к ней требований и др.

Наиболее распространенным способом предотвращения пригара на отливках при формовке по-сухому является покрытие поверхности форм и стержней противопопригарными красками.

Противопригарные добавки в формовочные смеси при формовке по-сухому, например углеродосодержащие вещества, не применяют, так как они при сушке газифицируются и их противопопригарное действие резко снижается.

При формовке по-сухому прочность форм в несколько раз больше, чем при формовке по-сырому, поэтому склонность к дефектам значительно меньше, а качество поверхности отливки намного лучше.

Если слой противопопригарной краски, имеющий обычно толщину 0,1-0,5 мм, не позволяет предохранить отливку от пригара, применяют противопопригарные пасты, имеющие по сравнению с краской (представляющей обычно суспензии) намного большую вязкость и позволяющие получить на поверхности формы или стержня слой противопопригарного покрытия толщиной 2-6 мм.

## 2.20.КЛАССИФИКАЦИЯ И ПОКАЗАТЕЛИ ТОЧНОСТИ ОТЛИВОК

**Классификация отливок.** Отливки классифицируют по массе, назначению, сложности конфигурации, серийности изготовления и точности размеров [3]. По массе отливки из чугуна и стали подразделяются на 4 группы (табл. 28), а из цветных сплавов - на 9 групп (табл. 29).

Таблица 28

Распределение отливок из черных металлов по массе

Группа	Характеристика группы	Масса, кг
I	Мелкие	до 100
II	Средние	101-1000
III	Крупные	1001-5000
IV	очень крупные	свыше 5000

Таблица 29

Распределение отливок из цветных сплавов по массе

Группа	Масса отливки, кг	
	из бронзы, латуни и цинковых сплавов	из алюминиевых и магниевых сплавов
1	до 0,25	до 0,2
2	0,26-1,0	0,21-0,4
3	1,1-4,0	0,41-0,8
4	4,1-10,0	0,81-1,6
5	10,1-20,0	1,61-3,2
6	20,1-50,0	3,21-6,3
7	50,1-200,0	6,31-12,5
8	200,1-500,0	12,6-25
9	свыше 500,0	свыше 25

По назначению чугунные и стальные отливки подразделяются на три группы.

**1 группа** - отливки неответственного назначения. Это отливки деталей, не рассчитываемые на прочность. Конфигурация и размеры отливок определяются конструктивными и технологическими требованиями к ним.

**2 группа** - отливки ответственного назначения. Это отливки деталей, испытываемых на прочность, работающих при статических нагрузках и в условиях трения и скольжения.

**3 группа** - отливки особо ответственного назначения. Это отливки деталей, испытываемых на прочность и эксплуатируемых в условиях динамических и знакопеременных нагрузок.

Отливки из цветных сплавов по условиям применения делят на три категории ответственности.

**1 категория** - это отливки, работающие в неблагоприятных условиях под значительными нагрузками. Их подвергают индивидуальному контролю вихревыми токами, рентгенопросвечиванию, флуоресцентному контролю, определяют механические свойства, плотность, химический состав.

**2 категория** - это отливки, которые используют в нормальных условиях под средними нагрузками. Для них предусмотрены испытания механических свойств, выборный контроль на плотность и рентгенопросвечивание.

**3 категория** - это малонагруженные отливки. Для них механические свойства определяют, как правило, на отдельно отлитых образцах от плавки.

Стальные и чугунные отливки по степени сложности подразделяют на пять групп.

**1 группа** - простые отливки. Отливки преимущественно плоскостные, малоответственного назначения (рис. 78). Наружные поверхности гладкие и прямолинейные с наличием невысоких усиливающих ребер, буртов, фланцев, отверстий, невысоких выступов и углублений, не связанных между собой и установочной базой размерами и допусками. Внутренние полости отсутствуют. Поверхности механически не обрабатываются или обрабатываются (полностью или частично) только с одной стороны.

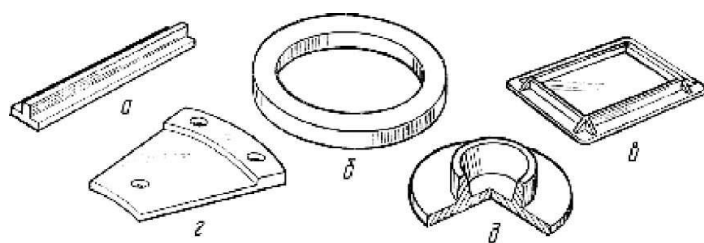


Рис. 78. Примеры простых отливок (I группа сложности): *а* - балка;  
*б* - бандаж; *в* - плита; *г* - сектор; *д* - крышка

**II группа** - несложные отливки (рис. 79). Отливки открытой коробчатой или цилиндрической формы. Наружные поверхности прямолинейные и криволинейные с наличием усиливающих ребер, буртов, муфт, кронштейнов, бобышек, фланцев с отверстиями (простейших геометрических фигур) без выступов и углублений. Внутренние полости расположены в один ярус (по собранной форме) и со свободными широкими выходами наружу минимум в две противоположные стенки. Поверхности механически обрабатывают с одной-двух сторон или по диаметру и растачивают одно-три отверстия, связанные между собой жесткими размерами и допусками.

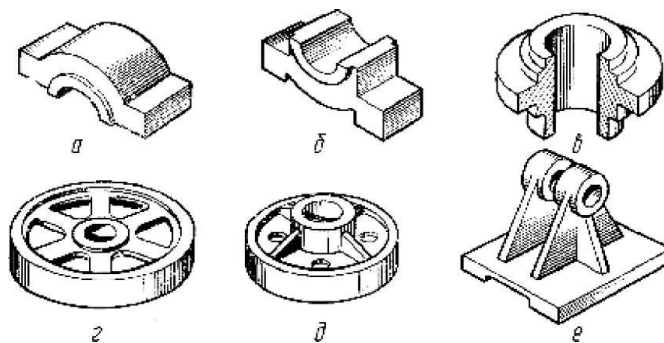


Рис. 79. Примеры несложных отливок (II группа сложности): *а* - крышка подшипника; *б* - корпус подшипника; *в* - ступица; *г* - зубчатое колесо; *д* - ролик;  
*е* - кронштейн

**III группа** - отливки средней сложности (рис. 80). Отливки открытой коробчатой или цилиндрической формы, ответственного назначения. Наружные поверхности криволинейные и прямолинейные с наличием нависающих частей, ребер, муфт, кронштейнов, бобышек, фланцев с отверстиями и углуб-

лениями, сравнительно сложной конфигурации. Внутренние полости средней сложности, с гладкой прямолинейной и одной-двумя криволинейными поверхностями, с незначительными выступами и углублениями на одной из гладких плоскостей, с небольшими по высоте ребрами, бобышками, кронштейнами, перемычками, расположенными в один и частично в два яруса со свободными широкими выходами полостей на поверхность отливки.

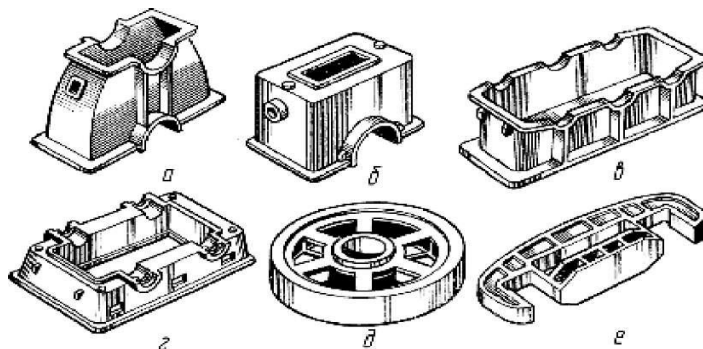


Рис.80. Примеры отливок средней сложности (III-я группа сложности):

*a* - корпус; *б* - крышка редуктора; *в* - корпус редуктора; *г* - основание;

*д* - зубчатое колесо; *е* - рама балансира

Поверхности механически обрабатывают с двух-трех прилегающих одна к другой сторон и растачивают до пяти отверстий, связанных между собой или с установочной базой жесткими размерами и допусками. Одна- две полости служат резервуарами для жидкости, работают без избыточного давления.

**IV группа** - сложные отливки (рис. 81). Отливки закрытой и частично открытой коробчатой или цилиндрической формы, ответственного назначения. Наружные поверхности криволинейные и прямолинейные с незначительным количеством пересекающихся поверхностей, имеющих выступающие части и углубления сложной конфигурации. Внутренние полости сложной конфигурации с небольшим количеством (3-4) пересекающихся криволинейных и прямолинейных поверхностей, с большим количеством далеко отстоящих одно от другого выступающих и углубленных мест, ребер, перемычек, бобышек

и кронштейнов, расположенных в один-два яруса, со свободным выходом на поверхность отливки минимум в одну сторону (по собранной форме).

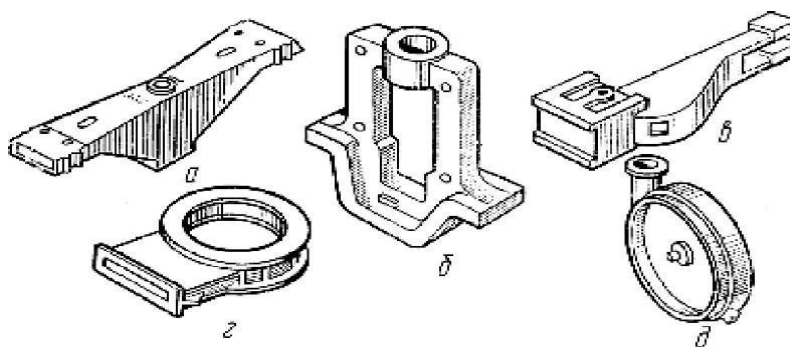


Рис. 81. Примеры сложных отливок (IV группа сложности): *а* - шкворневая балка; *б* - станина прокатного стана; *в* - ползун; *г* - корпус шибера; *д* - улитка

Одна-четыре полости служат резервуарами для жидкости, работают без избыточного давления.

Поверхности механически обрабатывают с трех-пяти сторон и растачивают до семи отверстий, связанных между собой или с установочной базой жесткими размерами и допусками. Отдельные поверхности являются трущимися.

*V группа* - отливки особо сложные и уникальные. Отливки закрытой коробчатой и цилиндрической формы, весьма ответственного назначения; комбинированные, состоящие из двух-трех и более разветвлений. Наружные поверхности криволинейные, имеющие пересекающиеся под различными углами ребра, кронштейны и фланцы, с высокими выступающими и углубленными местами. Внутренние полости сложной и особо сложной конфигурации с криволинейными поверхностями, имеющие пересекающиеся под различными углами сложные близко расположенные одна от другой выемки, выступы и заходы, с ленточными и кольцевыми каналами (двухтельные отливки}, расположенные в два-три и более ярусов со свободным и с затрудненным выходом внутренних полостей на поверхность отливки. Поверхности механически обрабатываются со всех сторон. Большое количество растачиваемых отверстий,



расположенных в разных направлениях, связанных между собой или с установочной базой жесткими размерами и допусками. Высокие требования к качеству рабочих поверхностей. Многие полости служат резервуарами для жидкостей, работающими без избыточного давления.

***Точностные параметры и выбор способа изготовления отливок.*** Под точностью изготовления отливок понимается степень отклонения их геометрических размеров и массы от номинальных значений. Точностные параметры отливки предусматривают: класс размерной точности (КРТ), степень коробления (СК), степень точности поверхности (СТП), класс точности массы (КТМ), допуск смещения отливки по разъему формы (ДСР).

Допуск смещения элемента отливки по плоскости разъема (ДСР) - это разность предельных отклонений положений частей элемента отливки, формируемых в разных полуформах.

В технических требованиях чертежа отливки или детали с нанесенными размерами отливки должны быть указаны нормы точности отливки. Их приводят в следующем порядке: класс размерной точности, степень коробления, степень точности поверхностей, класс точности массы и допуск смещения отливки.

Классификация отливок позволяет правильно выбрать способ их изготовления, осуществить разработку оптимального технологического процесса, произвести выбор необходимого оборудования, провести соответствующую организацию труда.

В настоящее время в различных отраслях производства находят применение около 60 различных способов литья, из них 24 относятся к специальным способам [9]. Каждый из них имеет свои преимущества и недостатки, которые ограничивают область их применения. Более 70 % отливок получают литьем в песчаные формы.

При выборе способа изготовления отливки в первую очередь принимают во внимание результаты анализа заказа и технологичности детали. В единичном, мелкосерийном и серийном производстве отливки обычно изготавливают

литьем в песчаные сырые и подсушиваемые формы. Трудности выбора способа литья связаны также с тем, что большую часть отливок можно изготавливать несколькими способами, которые в равной степени обеспечивают требуемые свойства литой детали. В данном случае решающим фактором, определяющим выбор способа, является его экономичность.

Каждый способ литья, как показывает практика, имеет свои оптимальные области применения (табл. 30).

Например, применение специальных способов изготовления отливок: литье в кокиль (ЛК), литье под низким давлением (ЛНД), литье под давлением (ЛД), центробежное литье (ЦЛ), литье по выплавляемым моделям и др., оправдано лишь при производстве крупных партий отливок, когда увеличение расходов на литейную оснастку и оборудование перекрывается повышением производительности труда.

Таблица 30

Способ литья	Применение основных способов литья
Способ литья	Получаемые отливки
В песчаные формы	Любых конфигураций, размеров и массы
В металлические формы	Простые и средней сложности, мелкие и средние по массе и размерам с повышенной точностью и чистотой поверхности в серийном и массовом производстве
Центробежное	Мелкие и средние в серийном и массовом производстве, чаще всего имеющие форму тел вращения, но могут быть и фасонные отливки, например, из титановых сплавов
В оболочковые (корковые) формы	Мелкие и средние, средней сложности с повышенной точностью и чистотой поверхности в серийном и массовом производстве
По выплавляемым моделям	Мелкие любой сложности, с большой точностью и высокой чистотой поверхности в основном из стали и труднообрабатываемых сплавов при серийном и массовом производстве

Учитывая большой объем производства отливок, получаемых в песчаных формах, важное значение имеет правильный выбор состава формовочных и стержневых смесей, способа их изготовления.

**Технические требования к отливкам.** На чертежах литых деталей должны быть указаны следующие технические требования:

1. Допускаемые отклонения по размерам, весу и припускам на обработку. Класс точности литой детали выбирают в зависимости от требуемой точности необрабатываемых поверхностей. Детали, имеющие необрабатываемые посадочные места или сопрягаемые поверхности (храповики, зубчатые колеса и звездочки с необработанным зубом, кронштейны и т.д.), рекомендуется выполнять по I-II классам точности.

2. Величины не указанных на чертежах радиусов закруглений.

3. Допуски на смещение опок устанавливают в пределах  $\pm 1$  мм, а для крупных деталей  $\pm 1,5$  мм. Допускаемое смещение опок указывают обычно на чертежах корпусных деталей (корпуса и крышки редукторов, коробки передач, кронштейны коробчатой формы, шкивы, диски шкивов и т.д.).

4. Формовочные уклоны. Кроме приведенных обязательных пунктов технических условий на чертежах могут быть указаны дополнительные требования в зависимости от конструктивного назначения деталей.

5. Условные обозначения класса чистоты необработанных поверхностей.

6. При термической обработке должны быть указаны требуемые пределы твердости и места замера ее.

7. При предъявлении специальных требований к твердости, глубине отбела отливки, макро- и микроструктуре, гидроплотности, коррозионной стойкости, жаропрочности и другим параметрам, должны быть приведены пределы требуемых величин, а также метод и схема испытаний.

8. Данные (или ссылки на общие технические условия) о виде, количестве, размерах и местах расположения литейных дефектов (раковин, трещин, спаев и т.д.), допускаемых на отливках без устранения, а также о дефектах, допускаемых к устранению и способы их устранения.

## 2.21. РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ИЗГОТОВЛЕНИЯ ОТЛИВОК

*Исходные данные для разработки технологического процесса изготовления отливок.* Разработка технологического процесса изготовления формы для получения той или иной отливки требует следующих исходных документов: чертежа детали, технических условий на литейную заготовку детали (отливку), характеристики качества и условий ее работы, указания объема выпускаемых деталей (отливок), а также руководящих материалов по разработке технологических процессов.

Разработка технологического процесса изготовления отливок включает следующие этапы:

- оценка технологичности литых деталей;
- разработка технологического процесса: выбор способа изготовления форм, определение положения отливки в литейной форме, выбор поверхности разъема формы, выбор вида формовки;
- получение отливок требуемых размеров и форм: определение припусков на усадку, определение припусков на механическую обработку и допускаемые отклонения по размерам отливки, определение формовочных (литейных) уклонов;
- определение конструкции и размеров стержней;
- конструирование и расчет литниковой системы;
- определение размеров и формы прибылей;
- определение размеров опок;
- оформление и порядок разработки технологического процесса.

*Выбор способа изготовления форм.* Для определения способа изготовления форм необходимо учитывать характер производства, степень механизации формовки, наличие литейной оснастки и возможности цеха по изготовлению моделей и специальной оснастки, а также размеры, форму и вес отливки.

Необходимо уже в самом начале разработки технологии изготовления детали предусматривать использование машинной формовки, которая в усло-

виях серийного и массового производства наиболее целесообразна. При машинной формовке высокая производительность сочетается с высокой точностью и постоянством свойств литых деталей. В табл. 31 приведены ориентировочные данные для определения серийности производства отливок.

Таблица 31

Данные для определения серийности производства отливок

Группа отливок по массе	Масса отливки, кг	Годовой выпуск отливок, шт., одного наименования при различных типах производства				
		Единичном	Мелкосерийном	серийном	Крупносерийном	массовом
I (мелкие)	20	300	300-3000	3000-5000	35000-200000	200000
	20-100	150	150-200	2000-15000	15000-100000	100000
II (средние)	101-500	75	75-1000	1000-6000	6000-40000	40000
	501-1000	50	50-600	600-3000	3000-20000	20000
III (очень крупные)	1001-5000	20	20-100	100-300	300-4000	4000
VI (очень крупные)	5001-10000	10	10-50	50-150	150-1000	1000
	10000-50000	5	5-25	25-75	75	-

Показателями, характеризующими прогрессивность технологического процесса являются: коэффициент выхода годного; производительность оборудования и труда рабочих; стоимость и срок службы оснастки; затраты на внедрение технологического процесса; себестоимость литья, срок окупаемости капитальных вложений.

Выбор способа изготовления отливок зависит от следующих факторов: серийности выпуска, конструкции отливки, сплава, техническим условиям на деталь и др.

**Определение положения отливки в литейной форме.** Определяя положение отливки в литейной форме, следует располагать наиболее ответственные поверхности, подвергающиеся механической обработке, внизу или в вертикальной плоскости.

Положение отливок при заливке формы должно удовлетворять направленному затвердеванию, т.е. наиболее удаленные от прибыли части отливки должны кристаллизоваться в первую очередь. Прибыли необходимо располагать непосредственно над массивной частью отливки.

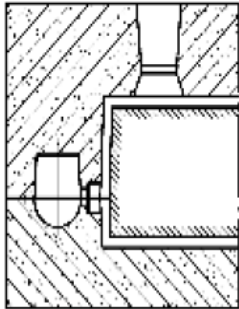
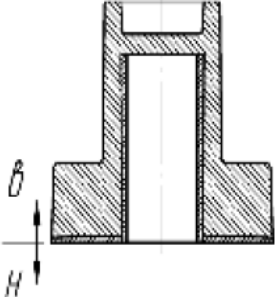
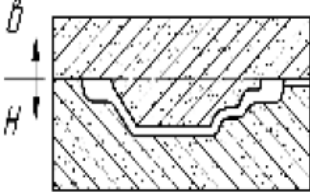
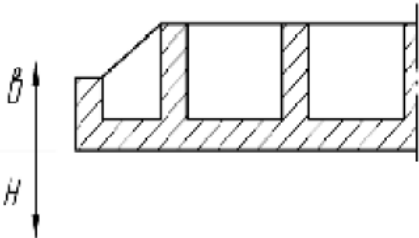
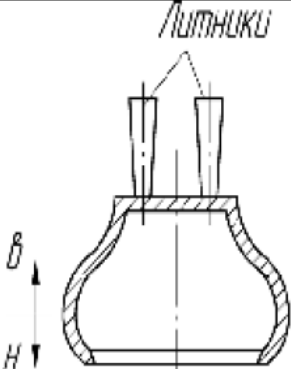
В отливках из серого чугуна массивные части следует располагать внизу по заливке, так как при отсутствии прибылей нижние части отливки питаются за счет верхних. Для уменьшения трудоемкости при изготовлении формы желательно предусмотреть изготовление формы минимальным количеством стержней или вообще без них.

Положение отливки в литейной форме должно обеспечивать надежность крепления стержней при сборке формы и возможность проверки правильности их установки.

Места установки прибылей, технологические пополнения, места подвода металла желательно располагать на обрабатываемых поверхностях отливок.

**Выбор положения отливки в форме в период заливки и затвердевания и разъема формы.** Положение отливки в форме и разъем формы должны обеспечивать высокое качество отливки, минимальные затраты на ее изготовление и на механическую обработку, минимальный расход металла и возможность применения механизации и автоматизации технологического процесса (табл. 32).

## Основные требования к выбору положения отливки в форме

Эскиз 1	Основные требования 2
	<p>При повышенной склонности сплавов к образованию усадочных раковин. Следует отливки располагать так, чтобы толстые части были сверху или с боку по разьему, что позволяет удобно устанавливать прибыли</p>
	<p>Наиболее ответственные части отливок следует располагать в нижней части формы или, в крайнем случае, вертикально, что уменьшает дефекты по неметаллическим включениям, усадочным и газовым раковинам</p>
	<p>При подводе металла по разьему формы горизонтальные тонкие стенки отливки следует располагать в нижней части формы, что обеспечивает лучшее заполнение формы и устраняет недолив и спай</p>
	<p>Массивные части отливок из серого чугуна следует располагать в нижней полуформе, а при формовки в одной полуформе – внизу; направленная кристаллизация для крупных отливок при этом обеспечивается применением металлических холодильников или смесей с повышенной теплопроводностью</p>
<p style="text-align: center;"><i>Литники</i></p> 	<p>Основную часть отливок с малой и равномерной толщиной стенок (посудное литье, ванны) следует располагать в верхней части формы, обеспечивая тем самым хорошее ее заполнение клиновыми щелевыми или дождевыми питателями, подводимыми в верхнюю часть отливки</p>

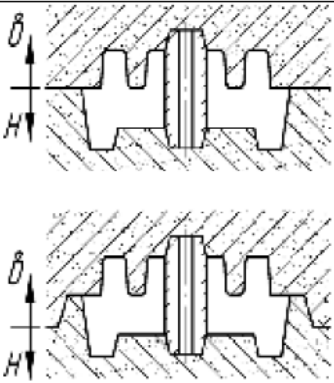
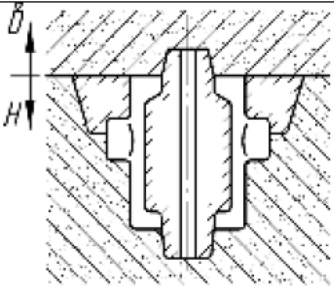
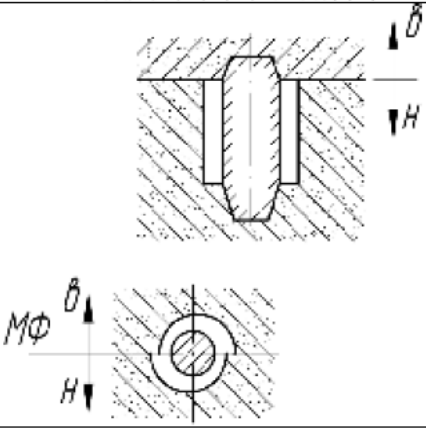
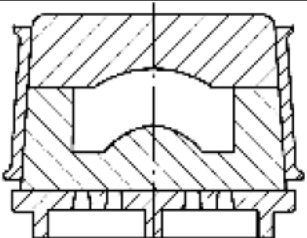
	<p>Отливку необходимо располагать так, чтобы обеспечить спокойное заполнение формы, исключая разрушение струей металла отдельных участков формы и стержней</p>
	<p>Для устранения образования газовых раковин отливки при заливке следует располагать так, чтобы был обеспечен преимущественно верхний отвод газов из стержней</p>
	<p>Отливку в форме следует располагать по возможности так, чтобы можно было объединить несколько стержней в один для двух или более отливок</p>
	<p>При изготовлении форм под высоким давлением, особенно на автоматических линиях, а также для деталей, подвергающихся испытанию на герметичность, отливки в форме следует располагать так, чтобы обеспечить крепление стержней без жеребеек, а закрепление увеличенной нижней части знака – плоскостью разъема верхней полуформы</p>
	<p>Отливку в форме следует располагать так, чтобы общая высота формы была наименьшей, а полуформы имели примерно одинаковую высоту</p>

**Выбор поверхности разъема формы.** От выбора поверхности разъема формы зависят разъем модели, необходимость применения стержней, их количество, величина формовочных уклонов и т.д.(табл.33)

Плоскую поверхность разъема формы следует предпочитать фигурной (рис. 82)



Основные требования к выбору разъема формы

Эскиз 1	Основные требования 2
	<p>Число разъемов формы должно быть минимальным, а поверхности разъемов – плоскими; при фасонной поверхности разъема его построение должно выполняться линиями, имеющими определенную геометрическую форму, что упрощает процесс изготовления, доводки и контроля модельных плит</p>
	<p>Число отъемных частей должно быть минимальным; при массовом и серийном производстве, если нельзя изменить конструкцию отливки, их следует заменять стержнями</p>
	<p>Разъем формы должен обеспечить наименьшее количество дефектов по перекосам, а также минимальную протяженность литейных швов по поверхностям отливок и соответственно заливок; если же заливок не избежать, то обработка их не должна вызывать затруднений; на базовых поверхностях отливок литейные швы и заусенцы не допускаются</p>
	<p>При безопочной формовке в нижней части полуформы; в этом в случае съем верхней формы и нижней, находящейся под воздействием вибратора, не вызывает затруднений</p>

	<p>Разъем формы должен быть таким, чтобы обеспечить удобный вывод газов из всех стержней, болванов и углубленных (при почвенной формовке) участков формы</p>
	<p>Количество стержней должно быть минимальным; по возможности – стержни следует заменять болванами, особенно на автоматических линиях формовки, или несколько отдельных стержней заменять одним общим; в единичном производстве для возможности замены стержней болванами следует применять парные модельные плиты по типу машинной формовки</p>
	<p>Разъем формы должен быть таким, чтобы все или основные стержни устанавливались в нижней полуформе и обеспечивали тем самым максимально удобные процессы сборки формы, ее отделки, окраски и просушивания, а также контроль установки стержней</p>
	<p>Базовые поверхности отливок должны быть расположены в одной полуформе с обрабатываемыми поверхностями, а также с фланцами и приливами, связанными с базовыми жесткими размерами; части детали, не допускающие относительного взаимного смещения, должны также располагаться в одной полуформе, если же разъем формы не допускает их расположения в одной полуформе, то ответственные поверхности должны занимать в форме строго определенное положение по отношению к базовым, что достигается применением специальной оснастки и средств контроля</p>

Рис.82.Пример выбора поверхности разъёма формы

Основные поверхности детали располагать в одной желательнее нижней, полуформе (рис. 83).



Рис. 83. Пример выбора поверхности разъема формы

Число отъемных частей модели должно быть минимальным. При машинной формовке отъемные части заменять стержнями или изменять конструкцию отливки (рис. 84).



Рис. 84. Конструкция отъемных частей модели

Поверхность разъема должна обеспечить формовку с применением наименьшего количества стержней (рис. 85).

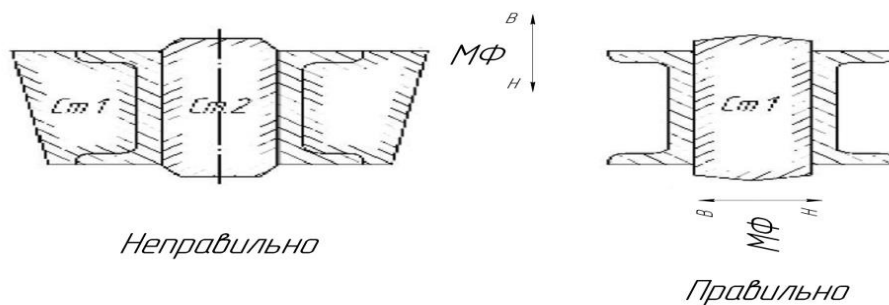


Рис. 85. Выбор поверхности разъема

Для предупреждения смещения верхней части отливки относительно нижней и утечки металла в разъем формы отливку следует, по возможности, располагать в нижней полуформе (рис. 86).

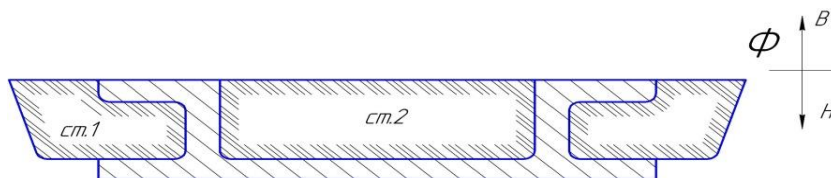


Рис. 86. Выбор поверхности разъема

**Выбор вида формовки.** Под видом формовки подразумевается состояние литейной формы, в котором она допускается к сборке и заливке металлом. Различают два вида формовки: «по-сырому» и «по-сухому».

Формы, прошедшие тепловую сушку, независимо от глубины просушенного слоя, считаются изготовленными «по-сухому».

Методом формовки «по-сухому» рекомендуется изготавливать крупные и толстостенные отливки, а также отливки, к качеству которых предъявляются повышенные требования.

Формы из песчано-глинистых смесей, не прошедшие тепловую сушку, и формы из жидкоподвижных смесей и смесей на жидком стекле, подвергаемые химическому твердению, считаются изготовленными «по-сырому».

При формовке «по-сырому» сокращается цикл изготовления форм, увеличивается оборачиваемость опок, сокращаются грузопотоки. Однако, формовка «по-сырому» имеет ряд существенных недостатков, которые необходимо учитывать при назначении вида формовки:

- следует избегать изготовления форм «по-сырому», где металлостатическое давление и динамический напор достигают значительных величин. Это может вызвать деформацию и разрушение сырых форм и повлечет за собой раздутие форм и песчаные включения;

- в сырую форму нежелательно устанавливать холодильники, так как на их поверхности конденсируется влага, что приведет к образованию в отливке газовых раковин;

- следует избегать изготовления крупных форм «по-сырому», так как по условиям формовки и сборки они простаивают длительное время до момента сборки и заливки форм.

- при продолжительном времени заливки сырой формы на поверхности отливки могут образовываться плены, ужимины и другие дефекты;

- выступающие части форм при формовке «по-сырому», ввиду малой их прочности, могут быть разрушены потоком металла.

## 2.22. ПОЛУЧЕНИЕ ОТЛИВОК, ТРЕБУЕМЫХ РАЗМЕРОВ И ФОРМ

**Определение величины усадки отливок.** Усадкой называется уменьшение объема металла при охлаждении. Изменение линейных размеров отливки, вызванное усадкой, называется линейной усадкой. Величина усадки зависит от марки сплава, конфигурации отливки, ее размеров, формовочных материалов, вида формовки, температуры металла при заливке формы и других факторов. Наибольшую усадку имеют отливки простой конфигурации, так как нет препятствий усадке. В отливках, имеющих стенки разной толщины, усадка получается неравномерной из-за неодновременного затвердевания и остывания. Более толстые части затвердевают позднее, чем тонкие. Отливки с большим числом стержней также не имеют равномерной усадки, так как стержни препятствуют свободной усадке. Наличие большого количества переменных факторов затрудняет точное определение величины линейной усадки отливок.

Величина линейной усадки  $\varepsilon_{л}$  может быть определена по формуле

$$\varepsilon_{л} = \frac{l_{\text{мод}} - l_{\text{отл}}}{l_{\text{отл}}} \times 100\%,$$

где  $l_{\text{мод}}$  – размер модели, мм;  $l_{\text{отл}}$  – размер отливки по чертежу, мм.

Отливка соответствует размерам чертежа в тех случаях, когда при изготовлении модели правильно учитывается линейная усадка металла. На основании анализа многочисленных замеров рекомендуется пользоваться данными табл. 34.

**Определение припусков на механическую обработку.** Припуском на механическую обработку называется слой металла, предусмотренный для снятия в процессе механической обработки. Величина припусков зависит от материала литой детали, характера производства, положения обрабатываемой поверхности в форме (при заливке). Припуски устанавливаются в зависимости от класса точности отливки.

Группа отливок	Усадка, %	
	затрудненная	свободная
Серый чугун		
Мелкие и средние отливки	0,9	1,0
Средние и крупные отливки	0,8	0,9
Очень крупные отливки	0,7	0,8
Специальные цилиндрические отливки:		
по длине	0,8	0,9
по диаметру	0,5	0,7
Стальное литье		
Отливки из углеродистых и низколегированных конструкционных сталей	1,3-1,7	1,6-2,0
Отливки из высоколегированных хромистых сталей	1,0-1,4	1,3-1,7
Отливки из феррито-аустенитных сталей	1,5-1,9	1,8-2,2
Отливки из чисто-аустенитных сталей	1,7-2,0	2,0-2,3
Цветное литье		
Оловянные бронзы	1,2	1,4
Безоловянные бронзы	1,6-1,8	2,0-2,2
Латуни цинковые	1,5-1,7	1,8-2,0
Латуни кремнистые	1,6-1,7	1,7-1,8
Латуни марганцовые	1,8-2,0	2,0-2,3
Силумин	0,8-1,0	1,0-1,2
Сплав алюминия с медью	1,4	1,6

**Точность отливки** - степень приближения размеров, формы, расположения элементов и параметров качества и поверхностей отливки к соответствующим заданным параметрам детали.

Точность отливки определяется значениями допусков на ее размеры, коробления, смещения по плоскости разъема, массы и припусков на механическую обработку ее поверхностей.

**Классы точности размеров отливок** - характеристика точности изготовления отливок, определяемая значениями допусков в мм. Установлено 16 классов точности и шесть дополнительных с индексами «Т» для номинальных размеров до 10000 мм.

Допуски размеров элементов отливки, образованной одной частью формы или одним стержнем, устанавливаются на один два класса выше образованной тремя и более частями формы, несколькими стержнями, а также на толщины стенок, ребер и фланцев - на 1-2 класса ниже.



Допуск размера отливки (допускаемые отклонения) - разность между наибольшим и наименьшим значениями размера отливки или между верхним и нижним предельным отклонениями.

При конструировании отливок на чертежах показывают допускаемые отклонения (допуски на размер). Величина допуска на размеры отливок включает обычно погрешности по всем признакам, кроме погрешностей по точности взаимного расположения поверхностей. Последние оговариваются на чертежах особо.

Правильное назначение величины допусков имеет большое значение с точки зрения экономики и организации производства. Отливку с большими допусками проще изготовить, но увеличение допусков приводит к большему расходу металла и в конечном итоге повышению себестоимости отливки. На рис. 87 показаны графическое объяснение припусков и допусков и их взаимосвязь.

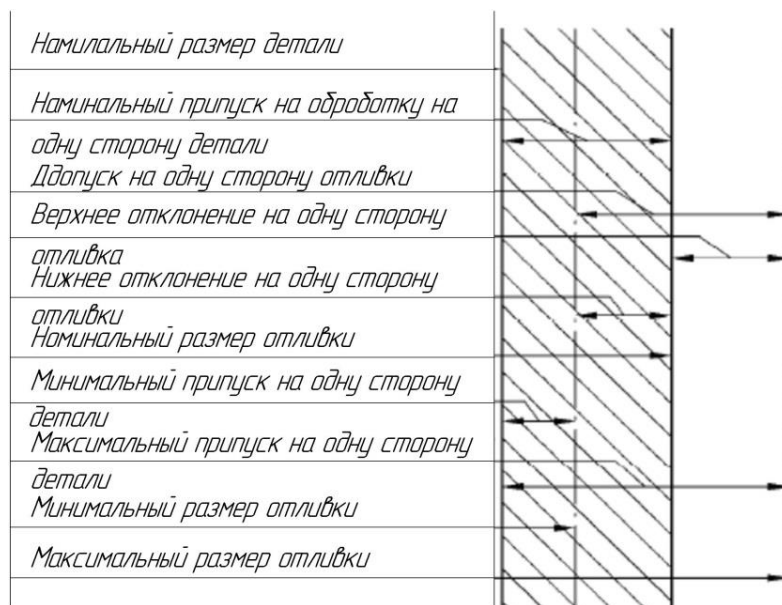


Рис.87. Графическое объяснение припусков и допусков и их взаимосвязь

Под номинальным размером отливки подразумевается основной расчетный размер, который задается чертежом. Размер, получаемый непосредственным измерением, называется действительным размером. Действительный размер ограничивается предельными размерами - наибольшим

или наименьшим. Допуск, или отклонение, является разностью между номинальным и каким-либо из предельных размеров. При этом различают верхние и нижние (отклонения в плюс и в минус).

Величина припусков зависит от наибольшего габаритного и номинального размеров отливки. Для установления припусков на механическую обработку под номинальным размером понимается наибольшее расстояние между противоположными обрабатываемыми поверхностями или расстояние от базисной поверхности или оси до обрабатываемой поверхности.

Припуски на механическую обработку отливок устанавливаются по ГОСТу в соответствии с классами точности их изготовления:

I класс - для отливок массового производства;

II класс - для отливок серийного производства;

III класс - для отливок индивидуального производства.

В табл. 35 приведена классификация отливок по весу.

Таблица 35

Весовые группы отливок

Группа	Вес отливок, кг		
	из черных сплавов	из цветных сплавов	
	чугун, сталь	тяжелых: бронза, латунь, цинковые	легких: алюминиевые, магниевые
1	До 1,5	До 0,25	До 0,2
2	1,5-6	0,25-1,0	0,2-0,4
3	6-8	1-4	0,4-0,8
4	8-20	4-10	0,8-1,6
5	20-50	10-20	1,6-3,2
6	50-100	20-50	3,2-6,3
7	100-250	50-200	6,3-12,5
8	250-500	200-500	12,5-25



**Определение веса отливки.** Для определения веса отливки необходимо по чертежу определить ее объем и умножить на плотность сплава. Классы точности размеров и масс и ряды припусков на механическую обработку отливок для различных способов литья и типов металла и сплава регламентированы по ГОСТу.

Обозначение точности отливок указывают в технических требованиях чертежа отливки или детали.

***Простановка размеров на чертежах.***

**Литейные базы.** Для определения расположения поверхностей деталей пользуются базовыми плоскостями (базами).

Базы разметки, указанные на чертеже детали, должны быть исходными базами как при изготовлении и контроле модельных комплектов, форм и отливок, так и при механической обработке деталей. Базы разметки следует указывать на чертеже по трем осям координат, причем базой разметки могут быть необрабатываемые и обрабатываемые поверхности или геометрические оси отливок.

Базу разметки следует выбирать в таком месте детали, где сосредоточены важные для конструкции размеры между необрабатываемыми и обрабатываемыми поверхностями, и так, что бы расстояние от базы разметки до базы механической обработки было наименьшим. Наибольшая точность достигается при расположении базы разметки в одной полуформе с наиболее ответственными частями отливки.

**Конструктивные уклоны.** Эти уклоны предусматриваются конструктором на необрабатываемых поверхностях, перпендикулярных плоскости разъема формы. Направление конструктивного уклона зависит от принятой плоскости разъема модели и во избежание ошибок должно быть согласовано с технологом-литейщиком. При отсутствии конструктивных уклонов технолог назначает в необходимых местах формовочные уклоны, которые искажают контуры отливки и требуют дополнительной механической обработки.

Величина и направление конструктивных уклонов сопрягаемых деталей должны быть согласованы с разрезами моделей и между собой.

При изготовлении отливки крышки по варианту, приведенному на рис. 88, а, необходимо делать формовочные уклоны поверхностей диаметрами 280, 275 и 110 мм, а отверстие диаметром 90 мм получать с помощью стержня.

Назначение конструктивных уклонов на все соответствующие поверхности (рис. 88, б) облегчило процесс изготовления формы и одновременно позволило выполнить отверстие диаметром 80 мм с помощью песчаного болвана.

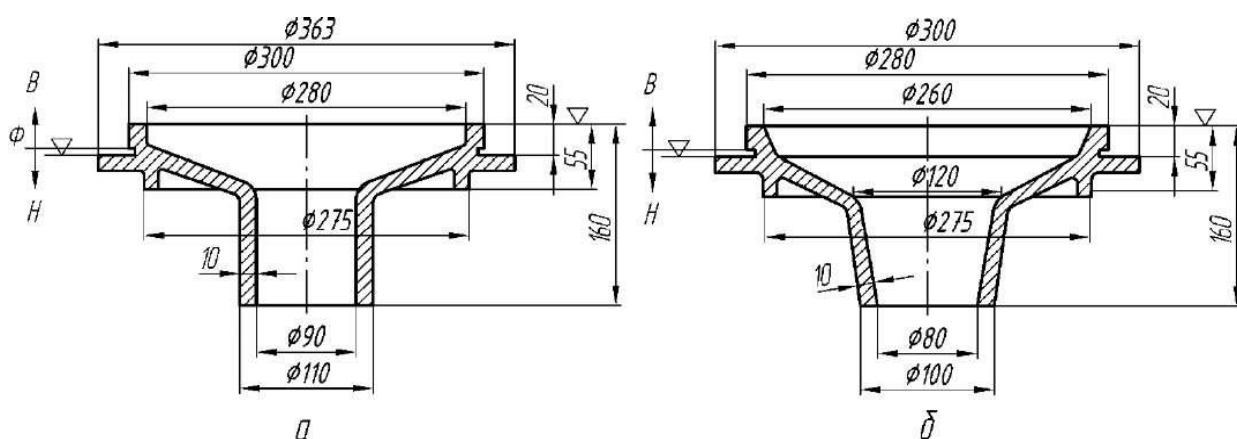


Рис. 88. Крышка для спуска эмульсии из станка

Конструктивные уклоны на местных невысоких утолщениях стенок, платиках, и бобышках следует увеличивать до 30-50 %.

**Формовочные (литейные) уклоны.** Формовочные уклоны придаются рабочим поверхностям моделей для удобства извлечения их из формы. Они придаются вертикальным поверхностям моделей, не имеющим конструктивных уклонов в направлении извлечения их из формы.

Формовочные уклоны следует выполнять:

1. На обрабатываемых поверхностях сверх припуска на механическую обработку за счет увеличения размеров отливки.
2. На необрабатываемых поверхностях отливки, не сопрягаемых с другими поверхностями за счет увеличения и уменьшения размеров отливки.

3. На не обрабатываемых поверхностях, сопрягаемых с другими поверхностями за счет уменьшения или увеличения размеров отливки в зависимости от плоскости сопряжения.

4. Формовочные уклоны основных формообразующих поверхностей в углублениях моделей в случае, когда диаметр или наименьшая ширина углубления больше высоты основной формообразующей поверхности ( $d > h$ ).

5. Формовочные уклоны в стержневых ящиках следует выполнять равными формовочным уклонам модельного комплекта с сохранением толщины стенки отливки, указанной в чертеже.

**Технологические пополнения, выполнение приливов.** Технологические пополнения назначаются для компенсации размеров, полученных после литья и механической обработки. Получение отливки точно по заданным размерам чертежа невозможно из-за несоответствия задаваемой и фактической величин литейной усадки, смещения стержней и форм по разьему.

Во избежание этого при разработке технологических процессов применяется утолщение фланцев отливки, выполняемое с необрабатываемых сторон.

Технологические пополнения на фланцы, обрабатываемые с одной и с обеих сторон, даны в табл. 36 и показаны на рис. 89.

Таблица 36

Для стальных отливок, мм		Для чугунных отливок, мм	
расстояние между фланцами Z	пополнение на фланцах I	расстояние между фланцами Z	пополнение на фланец I
100-250	2	250-400	1,5
250-400	3	400-650	2,0
400-650	4	650-1000	3,0
650-1000	5	1000-1600	4,0
1000-1600	6	1600-2500	4,5
1600-2500	7	2500-4000	5,0

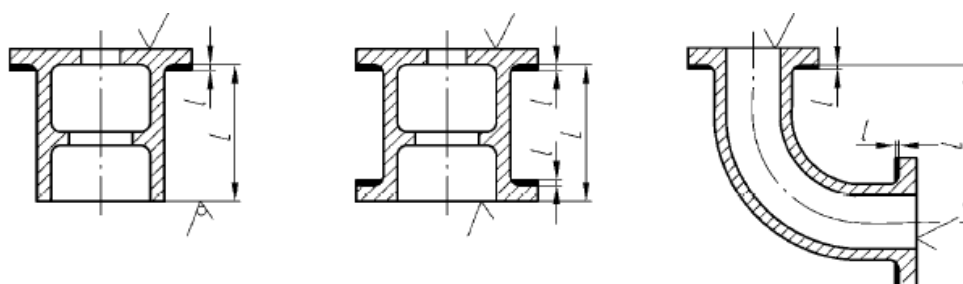


Рис.89. Технологические пополнения на фланцах

Технологические пополнения на отливки зубчатых колес по внутреннему ободу даны в табл. 37 и показаны на рис. 90.

Таблица 37

Внутренний диаметр обода D, мм	Технологическое пополнение на сторону для отливок, мм	
	из стали	из чугуна
Свыше 500	2	-
501-800	3	1,5
801-1000	4	2,0
1001-1400	5	2,5
1401-1800	6	3,0
1801-2400	8	4,0
2401-3000	8	4,0
3001-3600	9	4,5
3601-4200	10	5,0

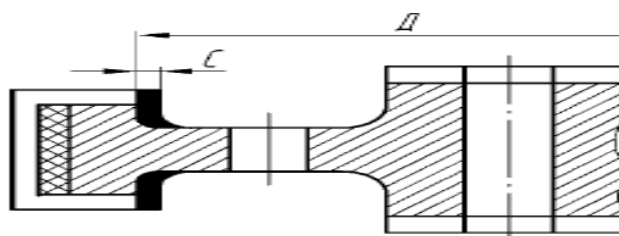


Рис.90. Технологические пополнения по внутреннему ободу колес

Необходимо назначать технологические пополнения по контуру местных приливов и других опорных частей, используемых для болтового соединения смежных деталей.

Рекомендуемые технологические пополнения по контуру приливов:

$l = 1,0-1,5$  мм при радиусе до 25 мм;

$l = 1,5-3,0$  мм при радиусе 25-50 мм.

При радиусе больше 50 мм пополнение по наружному контуру назначают согласно табл. 37 и показано на рис. 91.

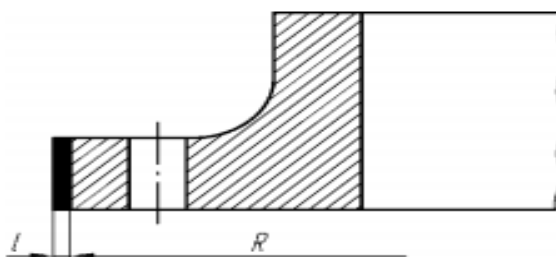


Рис. 91. Технологическое пополнение по наружному контуру приливов

## 2.23. КОНСТРУИРОВАНИЕ СТЕРЖНЕЙ

### *Определение количества и конструкции стержней.*

**Типы стержней.** В зависимости от конфигурации и условий работы стержни делят на пять классов:

I - стержни наиболее сложной конфигурации, имеющие тонкие сечения значительной протяженности, формирующие в отливках узкие внутренние необрабатываемые полости, имеющие узкие знаки (например, стержни рубашки охлаждения, блок цилиндров автомобиля);

II - сложные стержни с массивными частями сочетаемыми с тонкими ребрами, перемычками, выступами и впадинами, обладающие большими знаками, чем стержни класса I, и формирующие в отливках полностью или частично необрабатываемые полости (например, стержни сложных корпусов приборов);

III - стержни средней сложности, не имеющие особо тонких сечений, формирующие в отливках частично или полностью обрабатываемые поверхности, требующие наряду со средней прочностью в сыром и сухом состоянии

высоких поверхностных качеств (например, центровые стержни блока цилиндров);

IV - стержни несложной конфигурации, формирующие в отливках обрабатываемые или необрабатываемые внутренние полости, или внешние габаритные стержни средней и малой сложности (например, стержни крупных корпусных отливок, станин станков). Для увеличения податливости эти стержни могут изготавливаться пустотелыми или с пористыми прокладками;

V - стержни наиболее простой конфигурации, имеющие постоянные сечения, формирующие в отливках обрабатываемые и необрабатываемые ровные с плавными переходами внутренние и внешние поверхности.

В сложных отливках внутренняя полость отливок представляет собой сложный комплекс отдельных объемов, которые должны быть выполнены в форме стержнем или группой стержней. Назначение количества их является одной из первых задач технолога-литейщика. При решении этого вопроса учитывается необходимость выполнения следующих условий:

- стержень должен иметь удобную плоскость для набивки (простые в изготовлении);

- конструкция стержней должна обеспечивать их получение без применения отъемных частей стержневых ящиков (снижается точность, удорожание изготовления, снижение производительности);

- конструкция стержней должна обеспечивать минимальную их деформацию при сушке (их уменьшение ведет к усложнению конструкции ящика).

Стержни должны иметь необходимую прочность при транспортировке и установке в форму, надежную посадку и легко выполняемую вентиляцию, не слишком большую высоту во избежание возможного оседания под действием собственного веса, плоскую поверхность, на которой стержень будет лежать во время сушки.

Следует избегать простановки стержней в гнезда, выполненные в другом стержне, и установки нескольких стержней в одном гнезде, если избежать этого

не удастся, надо предусмотреть шаблоны для контроля правильности установки стержней в форме.

**Знаки стержней.** Это части стержня, которыми он укрепляется в форме. От знаковой части стержня зависит удобство и надежность установки стержня, возможность выхода из него газов, точность изготовления отливки.

При определении конструкции знаков устанавливают их размеры, уклоны, зазоры.

В зависимости от расположения стержня различают горизонтальные и вертикальные знаки.

**Знаки горизонтальных стержней.** Стержень в форме может устанавливаться (рис. 92): на двух опорах, по плоскости разъема формы (рис. 92,а), консольно (рис. 92,б), с нижним опорным знаком (рис. 92, в).

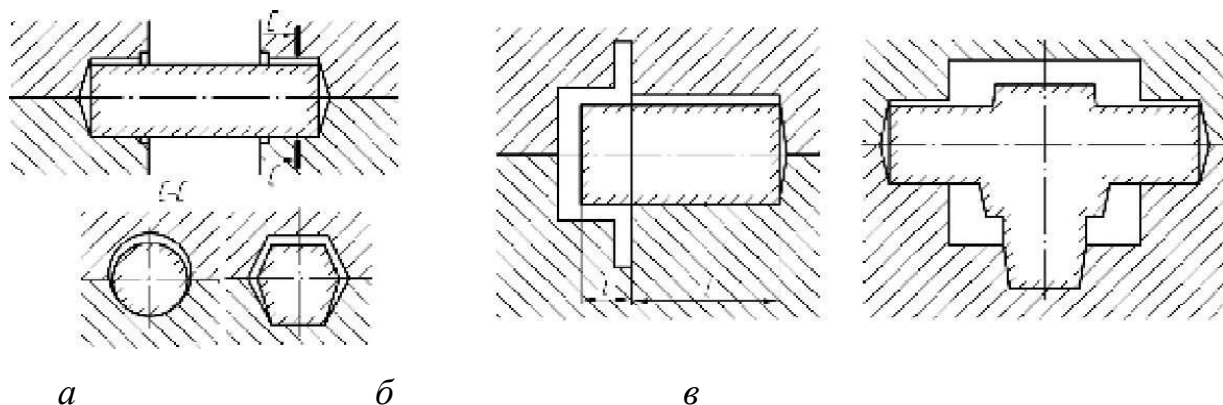


Рис. 92. Пример установки стержней (по плоскости разъема формы)

Размеры знаков стержней имеют большое значение. При слишком малом знаке может произойти обмятие формы и искажение размеров отливки под действием веса стержня.

Допустимое удельное давление на формовочную смесь при сырой формовке принимается обычно равным 0,025 МПа от веса стержня и 0,05 МПа от усилия всплывания. Для сухих форм удельное давление применяется равным 0,25 МПа от веса стержня 0,5 МПа от усилия всплывания.

Горизонтальные стержневые знаки выполняются без всякой конусности, одного диаметра со стержнем. Для того чтобы торец стержня не задирает форму, знак на модели делают или выпуклым или коническим, с уклоном 3-10°.

**Знаки вертикальных стержней.** Вертикальные стержни устанавливаются в форму с двухсторонним или с односторонним закреплением (рис. 93).

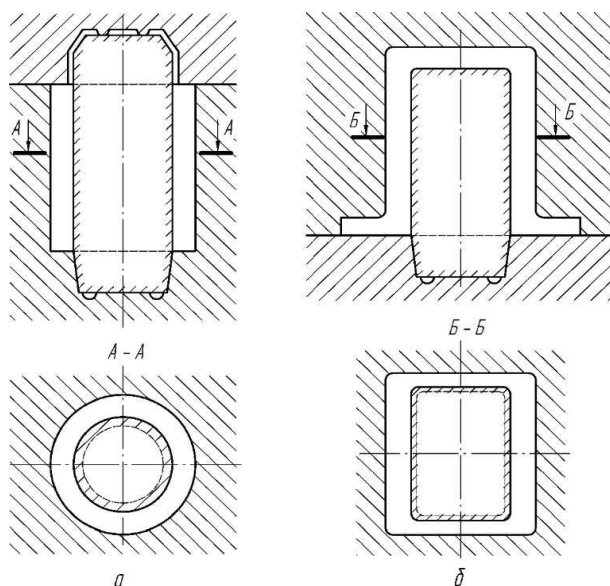


Рис. 93. Схемы установки вертикальных стержней: *a* - с двухсторонним закреплением; *б* - с односторонним закреплением

**Технологические элементы знаковых частей стержня.** Стержень, установленный в форму, имеет возможность переместиться в направлении вдоль оси знака или вокруг его. И в том и в другом случае перемещение стержня может вызвать изменение размеров отливки.

Для предотвращения смещения стержней на их знаках предусматриваются специальные устройства фиксирующие стержень в строго определенном положении. Эти устройства называются замками (фиксаторами)(рис. 94).



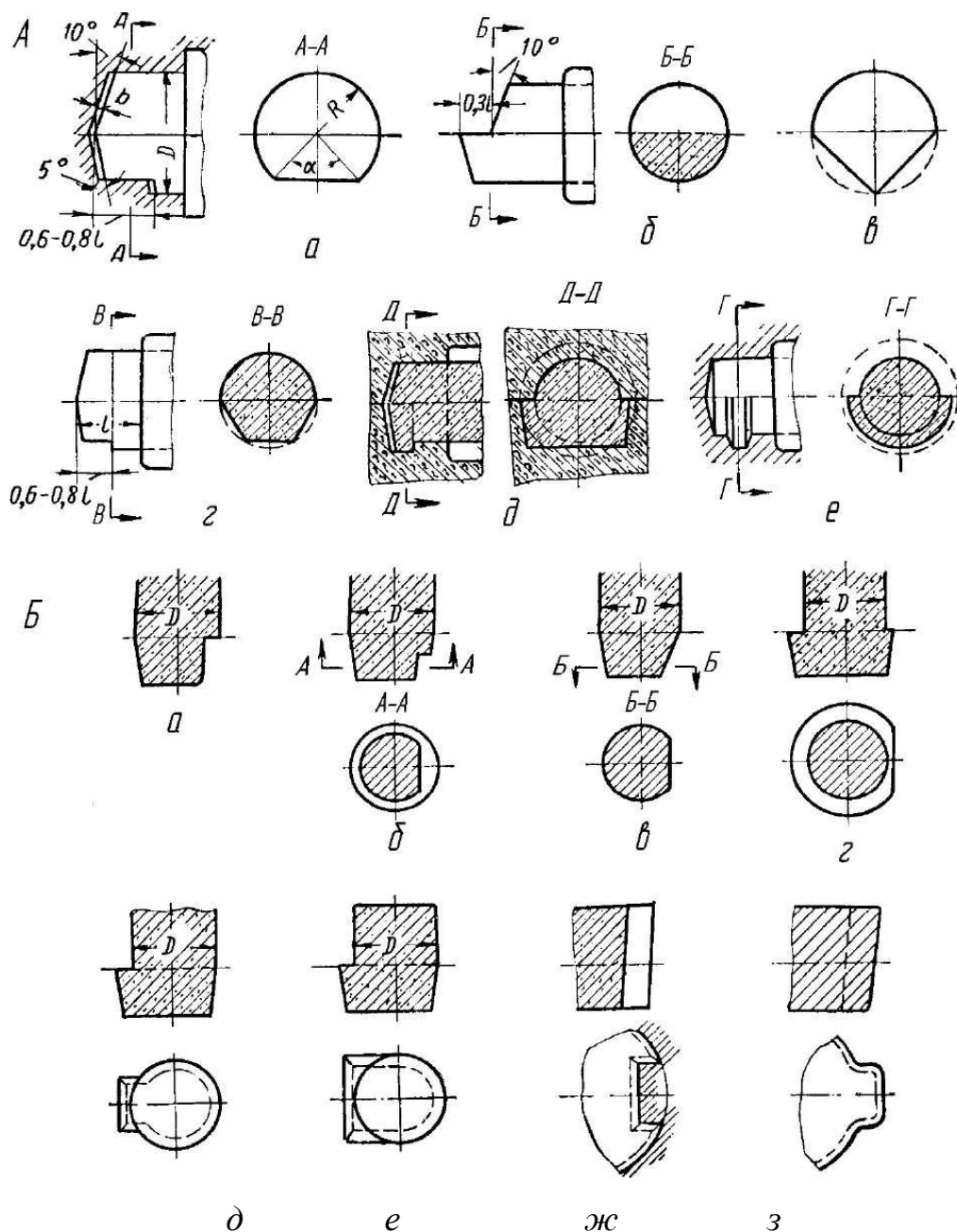


Рис. 94. Основные типы фиксаторов:

*A* - горизонтальные: *a* - круглый со срезом; *б* - круглый с верхним срезом; *в* - с двумя срезами; *г* - фигурный; *д*, *е* - устойчивый против перемещения вдоль оси знаков; *B* - вертикальные: *a*, *б* - круглый со срезом; *в* - круглый с коротким срезом; *г* - уширенный с плоским срезом; *д*, *е*, *з* - выступающие фиксаторы; *ж* - круглый с вырезами

В группе горизонтальных фиксаторов наиболее распространены фиксаторы типа «*A*». В группе фиксаторов вертикальных стержней наиболее широко используются фиксаторы типа «*B*».

**Уклоны и зазоры в знаковых частях.** Для облегчения установки стержней в форму и ликвидации смещения делаются уклоны с зазорами между сопрягаемыми стенками формы и стержня, величина которых зависит от способа формовки, высоты стенки и материала модели.

В табл. 38 приведены уклоны нижних и верхних знаков моделей и стержневых ящиков, необходимые для правильной установки стержней в форму и накрытия верхней полуформой. Допустимая сила смятия сырых форм примерно равна 0,025 МПа.

Таблица 38

Уклоны знаков моделей и стержневых ящиков

Высота знака, мм	Уклон знака, град				Пределы допусков на уклоны знаков, (мин)			
	Вертикальных стержней		горизонтальных стержней		металлических		деревянных	
	нижнего	верхнего	нижнего	верхнего	моделей	стержневых ящиков	моделей	стержневых ящиков
до 20	10,0	15,0	10,0	15,0	+15	-15	+30	-30
20-50	7,0	10,0	7,0	10,0	+15	-15	+30	-30
50-100	6,0	8,0	6,0	8,0	+10	-10	+25	-25
100-200	5,0	6,0	5,0	6,0	+10	-10	+25	-25
200-300	-	-	5,0	6,0	+10	-10	+20	-20
300-500	-	-	4,0	5,0	+5	-5	+20	-20
500-800	-	-	3,0	3,5	+5	-5	+15	-15

Для установки стержня в форму необходимо предусматривать зазоры (табл. 39), зависящие от размеров стержней и способов изготовления.

Зазоры на сторону между знаком формы и стержня при формовке по-сырому, мм

Высота знака верха или низа	Зазор (не более) при длине или диаметре стержня								
	до 50	50- 150	150- 300	300- 500	500- 700	700- 1000	1000- 1500	1500- 2000	2000- 2500
до 25	0,15	0,15	0,25	-	-	-	-	-	-
25-50	0,25	0,25	0,50	1,00	1,00	1,50	-	-	-
50-100	0,50	0,50	1,00	1,00	1,50	2,00	2,50	3,00	3,50
100-200	1,00	1,00	1,00	1,50	2,00	2,50	3,00	3,50	4,00
200-300	1,00	1,00	1,00	1,50	2,00	2,50	3,00	3,50	4,00
300-500	1,50	1,50	1,50	2,00	2,50	3,00	3,50	4,00	4,50
500-750	-	-	2,00	2,00	2,50	3,00	3,50	4,00	4,50
750-1000	-	-	-	2,50	3,00	3,50	4,00	4,50	5,00

Для точной фиксации стержней в форме необходимо правильное выполнение зазоров между знаком формы и стержня.

В табл. 40 и 41 представлены фактические зазоры на сторону между знаком формы и стержня при формовке по-сырому и по-сухому.

Таблица 40

Зазоры на сторону между знаком формы и стержня при формовке по-сырому, мм

Высота знака $h$ или $h_1$ наи- большая	Зазор $S_1$ (не более) при длине стержня $L$ или диаметре $D$									Зазоры $S_3$
	до 50	50-150	150- 300	300- 500	500- 700	700- 1000	1000- 1500	1500- 2000	2000- 2500	
до 25	0,15	0,15	-	-	-	-	-	-	-	-
25-50	0,25	0,25	0,50	1,00	1,00	1,50	-	-	-	1,50-2,50
50-100	0,50	0,50	1,00	1,00	1,50	2,00	2,50	3,00	3,50	2,00-5,00
100-200	1,00	1,00	1,00	1,50	2,00	2,50	3,00	3,50	4,00	3,00-6,00
200-300	1,00	1,00	1,00	1,50	2,00	2,50	3,00	3,50	4,00	3,50-6,50
300-500	1,50	1,50	1,50	2,00	2,50	3,00	3,50	4,00	4,50	4,00-7,50
500-750	-	-	2,00	2,00	2,50	3,00	3,50	4,00	4,50	5,00-8,00

Зазоры на сторону между знаком формы и стержня при формовке посухому, мм

Высота знака наибольшая до 25	Зазор $S_1$ (наибольший) при длине стержня $L$ или диаметре $D$											Зазоры $S_3$
	До 50	50-150	150-300	300-500	500-750	750-1000	1000-1500	1500-2000	2000-2500	2500-3000	Свыше 3000	
до 25	0,5	0,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
25-50	0,5	0,5	1,0	1,5	1,5	2,0	-	-	-	-	-	1,5-3,0
50-100	1,0	1,0	1,5	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	-	-	1,5-6,0
100-200	1,5	1,5	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	2,5-7,5
200-300	1,5	1,5	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	3,0-8,0
300-500	2,0	2,0	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	3,5-8,5
500-750	-	-	2,5	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	4,0-9,0

Для свободного центрирования стержней в форме, предусмотрены уклоны горизонтальных и вертикальных знаков.

В табл. 42 даны величины уклонов в знаках верхних и горизонтальных стержней, а также допуски на уклоны знаков в металлических и деревянных моделях.

Таблица 42

Уклоны знаков моделей и стержневых ящиков

Высота знака или $h_1$ , мм	Уклон знака, град					Пределы допусков на уклоны знаков, '(мин)			
	вертикальных стержней		Горизонтальн. стержней			металлических		деревянных	
	нижнего	верхнего	нижнего		верхнего	моделей	стержневых ящиков	моделей	стержневых ящиков
	а	в	а <sub>1</sub>	а	в				
до 20	10,00	15,00	10	3,00	15,00	+15	-15	+30	-30
20-50	7,00	10,00	7	1,30	10,00	+15	-15	+30	-30
50-100	6,00	8,00	6	1,00	8,00	+10	-10	+25	-25
100-200	5,00	6,00	5	0,45	6,00	+10	-10	+25	-25
200-300	-	-	5	0,45	6,00	+10	-10	+20	-20
300-500	-	-	4	0,30	5,00	+5	-5	+20	-20
500-800	-	-	3	0,30	3,30	+5	-5	+15	-15
свыше 800	-	-	2,3	0,30	3,00	+3	-3	+15	-15

Для устранения перекосов при установке вертикальных стержней, на знаковой части модели устраивается выступ. При формовке этот выступ образует небольшую канавку, размеры которой приведены на рис. 95, а.

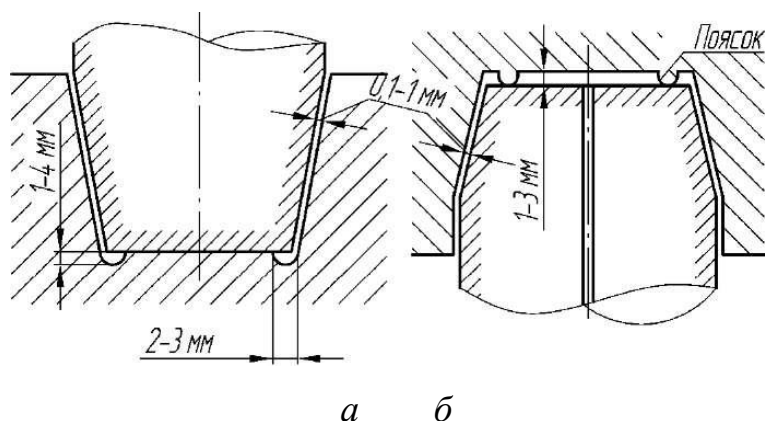


Рис. 95. Технологические устройства на знаках вертикальных стержней:

а - нижний знак; б - верхний знак

Во время установки стержня в форму земля, попадающая в знаковую часть, собирается в этой канавке и не отражается на правильности установки стержня.

Через верхний знак вертикальных стержней наиболее часто осуществляется вывод газов из стержня. Поэтому важно, чтобы верхний знак при заливке не заливался металлом, для этого на торце знака модели делается кольцевое углубление. При формовке и углубления знака образуется выступающий земляной поясok. При сборке формы этот поясok плотно обжимается по торцу знака стержня(рис. 95, б).

## 2.24.КЛАССИФИКАЦИЯ ПРИБЫЛЕЙ

**Определение формы и размеров прибылей.** Центральная усадочная раковина (рис. 96) в стальных отливках в некоторых случаях может вся находиться на поверхности отливки (рис. 96а) или представлять собой внешнюю и внутреннюю концентрированные усадочные раковины (рис. 96б).



Рис. 96. Концентрированные усадочные раковины:

*a* - внешняя; *б* - внешняя и внутренняя

Прибыль представляет собой технологический прилив к отливке, в котором, в зависимости от его размеров, конфигурации, места расположения, способа заливки формы, может быть в той или иной степени сосредоточена усадочная раковина, которая при отсутствии прибыли получилась бы в теле отливки.

На рис.97 показаны последствия неправильного определения размеров прибылей, когда центральная усадочная раковина полностью расположена внутри отливки (рис.97а) или занимает ее часть (рис.97б). Штриховой линией показана граница отливки, ниже которой дефекты недопустимы. Правильный расчет прибыли показан на рис.97в, где сконцентрированная усадочная раковина находится полностью в ней. При отделении прибыли получают плотную отливку.

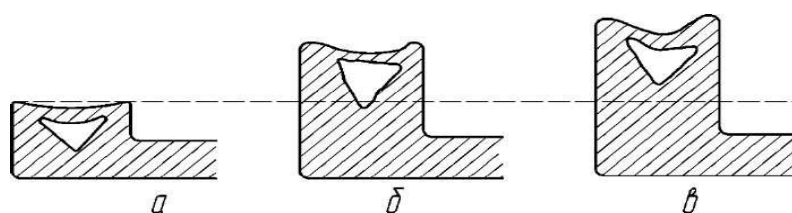


Рис. 97. Типичные усадочные раковины

Прибыли увеличивают расход металла, поэтому применять их нужно по необходимости и только для отливок из сплавов с повышенной усадкой, таких, например, как углеродистая и легированная сталь. Прибыли ставят также на крупных отливках из серого и модифицированного (высокопрочного) чугуна и некоторых цветных сплавов.

В зависимости от принципа действия прибыли подразделяются на прибыли прямого и бокового питания, открытые и закрытые, простого действия, с атмосферным и сверх атмосферным давлением, обогреваемые и отламываемые. Наибольшее применение находят прибыли прямого и бокового питания, открытые и закрытые, простого действия.

На рис.98 показаны открытые прибыли прямого (рис.98а) и бокового (рис.98б) питания.

Открытые прибыли назначаются в тех случаях, когда применение закрытой прибыли затруднено, как например, при сложной модели, необходима доливка металла сверху.

На рис.99 приведены закрытые прибыли прямого (рис.99а) и бокового (рис.99б) питания простого действия.

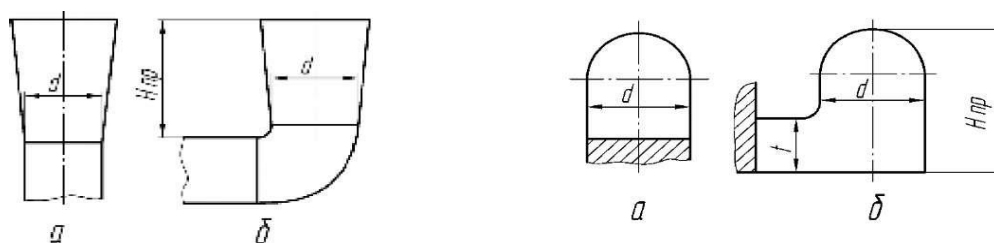


Рис. 98. Типы открытых прибылей: Рис. 99. Типы закрытых прибылей:

- a* - прибыль прямого питания; *a* - прибыль прямого питания;  
*б* - прибыль бокового питания      *б* - прибыль бокового питания

Применение закрытых прибылей сферической формы позволяет сэкономить 40-50 % металла.

Для обеспечения работы закрытой прибыли под атмосферным давлением в нее устанавливают песчаный стерженек (рис. 100), который быстро прогревается до температуры металла, а металл вокруг него не затвердевает. По этому стерженьку воздух из атмосферы проходит в прибыль, которая и работает под атмосферным давлением.

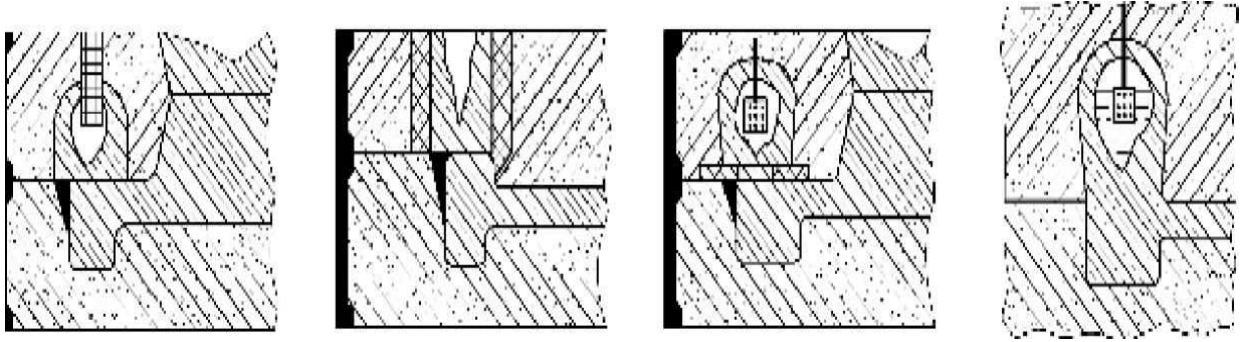


Рис. 100. Закрытая прибыль под атмосферным давлением (с песчаным стержнем; с экзотермическим стаканом)

Для уменьшения расхода металла применяют прибыли, работающие под избыточным давлением, создаваемым специальным патроном, установленным в форме. Патрон состоит из металлического корпуса и мелового заряда. После заливки формы стенки корпуса патрона расплавляются к моменту, когда на стенках формы образовалась уже достаточно прочная корочка твердого металла (рис. 100). Мел при нагревании разлагается, образуя газ, который и создает внутри прибыли избыточное давление. Давление улучшает условия заполнения усадочных пор жидким металлом.

Легкоотделяемая прибыль (отбиваемая прибыль) - прибыль, питающая отливку через относительно малое отверстие, выполняемое разделительной пластиной из керамической или стержневой смеси (рис. 101).

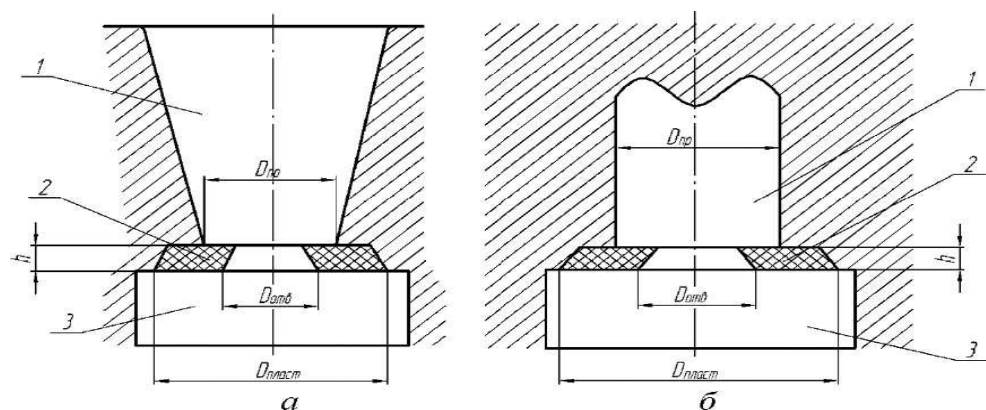


Рис. 101. Отбиваемая прибыль

*a* - открытой; *б* - закрытой; 1 - прибыль; 2 - разделительная пластина;

3 - отливка



Действие легкоотделяемой прибыли основано на следующем. Стержень-диафрагма, имея малую толщину, в течение короткого времени настолько прогревается теплом стали, залитой в форму, что в дальнейшем не оказывает существенного влияния на охлаждение стали в прибыли и в ее питающем отверстии. Легкоотделяемые прибыли применяют для отливок с малым объемом механической обработки, к которым не предъявляются специальные требования по сплошности стенок.

По форме прибыли делятся на шаровые (*а*), полушаровые (*б*), конические (*в*) и плоскостенные (*г*) (рис. 102).

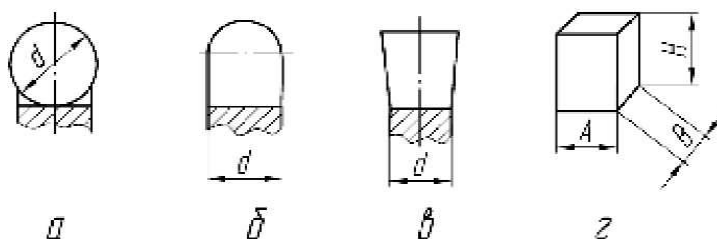


Рис. 102. Типы прибылей:

*а* - шаровые; *б* - полушаровые; *в* - конические; *г* - плоскостенные

Влияние формы прибыли на величину и расположение сосредоточенной усадочной раковины в стальной отливке показано на рис. 103. На рисунке видно большое влияние формы прибыли на процесс питания стальной отливки.

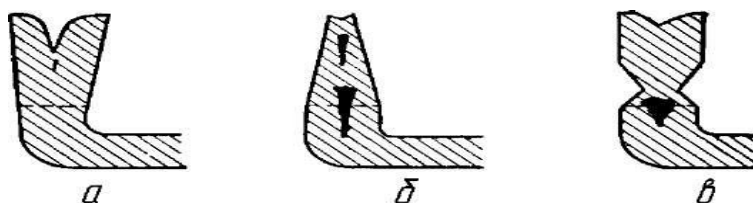


Рис. 103. Влияние конфигурации прибыли на усадочную раковину:

*а* - правильно; *б, в* - неправильно

**Выбор месторасположения прибыли.** Расположение прибыли также может быть причиной образования дефектов (усадочных раковин) в теле отливки (рис. 104). На схеме *б* (рис. 104) прибыль сдвинута с того места, где она бы наиболее эффективно воздействовала на питание отливки. То же самое

показано и на схеме *в*(рис. 104) при сужении основания прибыли. В обоих случаях, в отливке остается часть сосредоточенной усадочной раковины, что приводит к браку. Если питание отливки правильное, центральная усадочная раковина остается в прибыли. При этом получают плотную без дефектов отливку схема *а*(рис. 104).

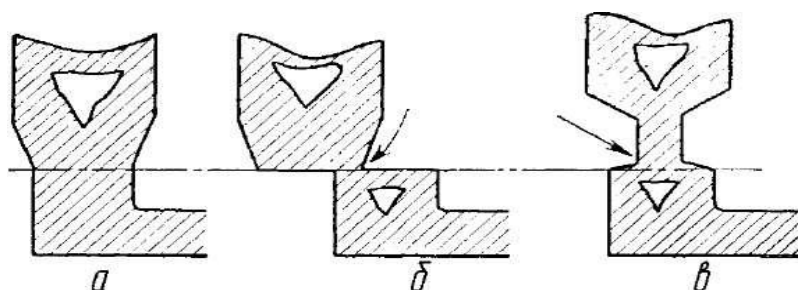


Рис. 104. Расположение прибылей в отливке:

*а* - правильное; *б, в* - неправильное (показано стрелками)

Большую роль в получении стальных отливок без дефектов (усадочных раковин) играет конструктивное оформление изделия. На рис. 105 даны примеры конструктивного оформления отливок.

Изменяя конструктивное оформление, можно получить технологичную отливку, не опасаясь образования в ней дефектов - усадочных раковин.

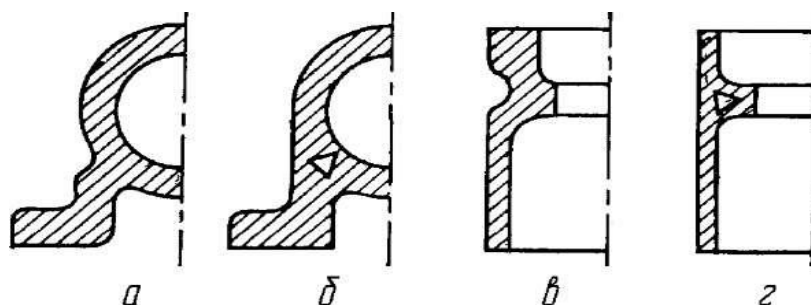


Рис. 105. Образование внутренних дефектов при правильной (*а, в*) и неправильной (*б, г*) конструкциях отливок

При выборе места расположения прибыли необходимо учитывать следующее.

1. Усадочные раковины образуются в местах отливки, затвердевающих позднее, т.е. в местах, где имеется скопление металла (местные утолщения, узлы сочленений отдельных элементов отливки, места с замедленной теплоотдачей).

2. Усадочная раковина стремится занять наивысшее положение в отливке.

3. Установка прибылей на массивных местах еще более замедляет скорость охлаждения последних и способствует увеличению остаточных напряжений в отливке.

4. Расположение прибылей на необрабатываемых поверхностях приводит к необходимости обработки и зачистки последних.

5. Прибыли способствуют образованию в них неметаллических включений и ликвационных выделений.

6. Открытые прибыли, расположенные на верхних частях отливки, выполняют роль выпоров. Закрытые прибыли не устраняют необходимости применения выпоров.

## **2.25. ЛИТНИКОВЫЕ СИСТЕМЫ И ТРЕБОВАНИЯ, ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫЕ К НИМ**

*Назначение литниковой системы, ее элементы.* Литниковой системой называется совокупность каналов, назначением которых является подвод металла в форму и задержание шлака и неметаллических включений, попавших в металл.

На рис. 106 приведена схема построения литниковой системы. Элементы литниковой системы следующие: литниковая воронка 1, стояк 2, литниковый ход (шлакоуловитель) 3 и питатель 4. Литниковая воронка является расширением верхней части стояка в форме, она предназначена для приема металла из ковша и направления его в стояк. В большинстве случаев литниковая воронка выполняется отдельно и ставится на поверхность формы над стояком.

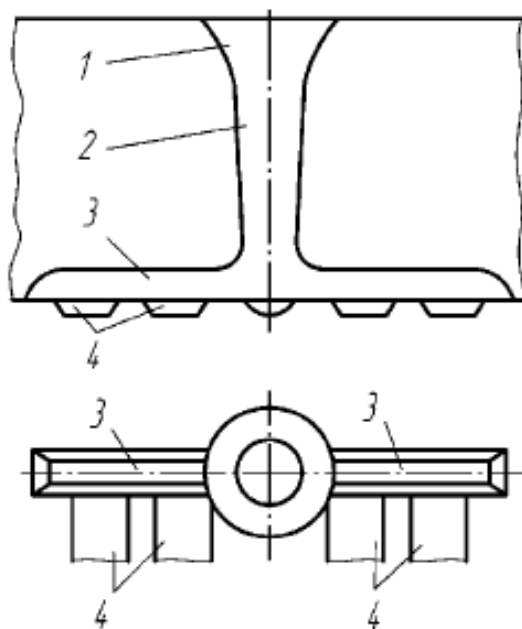


Рис.106.Нормальная литниковая система

**Стояк**- вертикальный канал в форме, соединяющий литниковую воронку со шлакоуловителем. С целью удобства его выполнения, а также обеспечения плавности заливки формы металлом делается он с некоторой конусностью книзу. Это обеспечивает получение замкнутой литниковой системы, так как увеличивается его площадь кверху. Большой его уклон излишен, поскольку увеличивает расход металла. При заливке формы через носок ковша средний уклон стояка принимается равным  $18'$ , что дает

$$\frac{D-d}{2h} = \operatorname{tg}\alpha = 0,005,$$

где  $D$  - диаметр вверху;  $d$  - диаметр внизу;  $h$  - высота стояка.

На 100 мм высота будет  $D - d = 1$  мм.

Рекомендуемые уклоны стояков для замкнутых систем принимаются в соответствии с данными, приведенными в табл. 43 [3].

Уклоны (конусность) стояков для замкнутых литниковых систем

Высота стояка $h, \text{мм}$	Разность Диаметров $D-d, \text{мм}$	Высота стояка $h, \text{мм}$	Разность Диаметров $D-d, \text{мм}$	Высота стояка $h, \text{мм}$	Разность диаметров $D-d, \text{мм}$
100	1	600	6	1200	12
200	2	700	7	1400	14
300	3	800	8	1600	16
400	4	900	9	1800	18
500	5	1000	10	2000	20

При заливке формы из стопорного ковша, т.е. при незамкнутой литниковой системе стояк должен быть цилиндрическим или с небольшим уклоном для лучшего выема его модели. Размеры его принимаются по табл. 44.

На крупных отливках стояк и вся литниковая система чаще всего выполняются из огнеупорных трубок.

Таблица 44

Уклон стояков для случая подвода на нескольких уровнях

Высота стояка $h, \text{мм}$	Разность диаметров $D-d, \text{мм}$	Высота стояка $h, \text{мм}$	Разность диаметров $D-d, \text{мм}$
600	4	1200	6
700	4	1400	7
800	4	1600	8
900	5	1800	9
1000	5	2000	10

**Шлакоуловитель (литниковый ход)** является промежуточным каналом литниковой системы, назначением которого является распределение металла, поступающего из стояка по питателям, а также задержание попавшего

с металлом шлака и других неметаллических включений. При разливке металла из ковшей, имеющих стопорное устройство, форма может выполняться без литниковых ходов, при заливке металла в форму из ковшей через носок они необходимы для улавливания шлака.

Чаще всего используется трапециевидное сечение. Потери тепла в этом случае минимальны. Верхние углы закругляются. Полукруглое сечение хуже задерживает шлак и теряет больше тепла. Круглые сечения хорошо отделяют шлаковые включения. Для лучшего отделения шлака от металла место подвода его из стояка к шлакоуловителю должно быть выше места подвода металла из шлакоуловителя в питатель. Шлакоуловитель должен перекрывать питатель для создания тупика, в котором собираются шлаковые включения.

**Питатель (литник)** является литниковым каналом, с помощью которого металл подводится непосредственно в полость формы. Рациональность литниковой системы определяется: обеспечением плавного заполнения формы металлом; совершенным отделением шлака от металла в процессе его заливки; подводом металла в форму без ударов о стержень или стенки формы; простотой конструкции при минимальном расходе металла.

В зависимости от соотношения площадей сечения стояка, шлакоуловителя и питателей литниковые системы могут быть незамкнутые (незапирающиеся) и замкнутые (запирающиеся).

Под незамкнутой литниковой системой подразумевается такая, при которой во время заполнения формы металлом стояк и шлакоуловитель не заполняются полностью металлом.

В этом случае в первые секунды заливки литниковая система не заполняется металлом (не запирается), благодаря тому что общее сечение питателей ( $F_{пит}$ ) в ней больше сечения шлакоуловителя ( $F_{шл}$ ) и стояка ( $F_{ст}$ ), т.е. в этом случае имеется соотношение

$$F_{пит} > F_{шл} > F_{ст}.$$

При замкнутой системе она с первых же секунд заполняется металлом, так как в ней общее сечение питателей меньше сечения шлакоуловителя и стояка. В этой литниковой системе справедливо соотношение

$$F_{\text{пит}} < F_{\text{шл}} < F_{\text{ст.}}$$

Питатели в этой системе пропускают меньше металла, чем подается его в стояк и шлакоуловитель. Благодаря этому стояк и шлакоуловитель всегда бывают заполнены металлом, что обеспечивает некоторую выдержку его и отстой шлаковых включений, и удаление газов. При такой системе подачи металла брака по газовым и шлаковым включениям значительно меньше, чем это имеет место при незапираемых литниковых системах, где нет возможности металлу отстояться перед входом в форму.

Наиболее распространенным сечением является трапециевидное, которое обеспечивает легкость удаления его от отливки, легкость задержания шлаковых включений и меньшую склонность к образованию усадочной рыхлости у места подвода металла. С уменьшением высоты питателя эти свойства его увеличиваются. Большим недостатком этого типа сечения является быстрота охлаждения металла. При сечениях, у которых стороны равны, появляются обратные свойства, а именно уменьшаются потери тепла, но увеличивается опасность засорения формы шлаковыми включениями, образования усадочной рыхлости и усложняется удаление его от отливки.

Удлиненный тип питателя применяется при подводе металла к тонким вертикальным стенкам отливки. Питатели сегментного и полукруглого сечения действуют аналогично трапециевидным. Сегментные сечения одинаковы с действием трапециевидных, и действие их улучшается с уменьшением их высоты. Полукруглые сечения одинаковы по действию с равносторонним типом трапециевидных сечений; применяются они в одинаковых условиях. Треугольные сечения быстро теряют тепло, хорошо отделяются от отливки; они применяются редко.

Сечение питателя делается по всей длине одинаковым, но с целью лучшего отделения от тела отливки сечение его в месте стыка со шлакоуловителем

увеличивается на 5-10 %, а у тела отливки оставляется расчетное. В местах соприкосновения питателя с телом отливки для предотвращения размыва формы делается галтель.

При расположении отливки в двух полуформах шлакоуловители располагаются над плоскостью разъема формы, а питатель ниже. Если отливка располагается только в верхней полуформе, то подвод металла можно осуществлять так, как это показано на рис. 107. Подводить металл под отливку (рис. 107, в) не рекомендуется из-за удорожания зачистки места подвода.

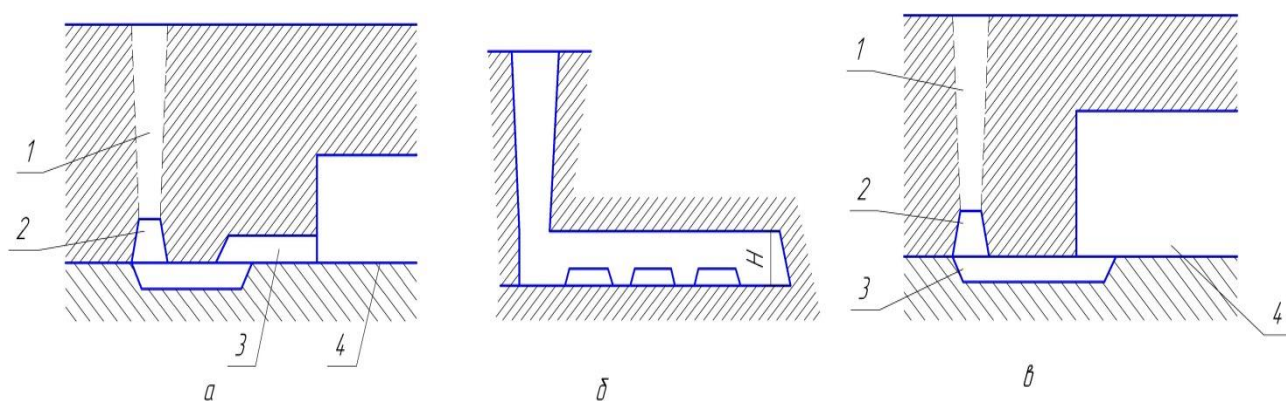


Рис. 107. Подвод металла в форму: *а* - ступенчатый питатель; *1* - стояк; *2* - шлакоуловитель; *3* - ступенчатый питатель; *4* - отливка; *б* - плоский питатель в верхней опоке; *в* - нерекомендуемый способ подвода питателя снизу под отливку

**Выпор** - вертикальный канал (стояк), расширяющийся кверху. Он служит для выхода вытесняемого из формы воздуха и газа, для слива загрязненного и остывшего в процессе заливки металла и для наблюдения за ходом заполнения формы. Обычно выпоры устанавливают на наиболее возвышающихся частях плоскости формы. Применение выпоров увеличивает расход металла. На мелких отливках выпоры, как правило, не используются.

**Прибыль**- дополнительная часть отливки, которая применяется для сплавов с повышенной усадкой. Она служит для питания отливки металлом в процессе затвердевания. Устанавливаются прибыли на массивных местах от-



ливок, затвердевающих в последнюю очередь. В прибыли располагается усадочная раковина.

При наличии открытых прибылей выпоры могут не применяться. В некоторых случаях металл может заливаться в форму через прибыль.

**Способы подвода металла в форму.** В соответствии с классификацией методов подвода металла к отливкам он может быть подведен к форме следующим образом: по разьему формы; сверху; снизу или сифоном; этажно.

Схема каждого из указанных методов подвода металла приводится на рис. 108. Схема распределения температур при разных методах подвода металла приводится на рис. 109.

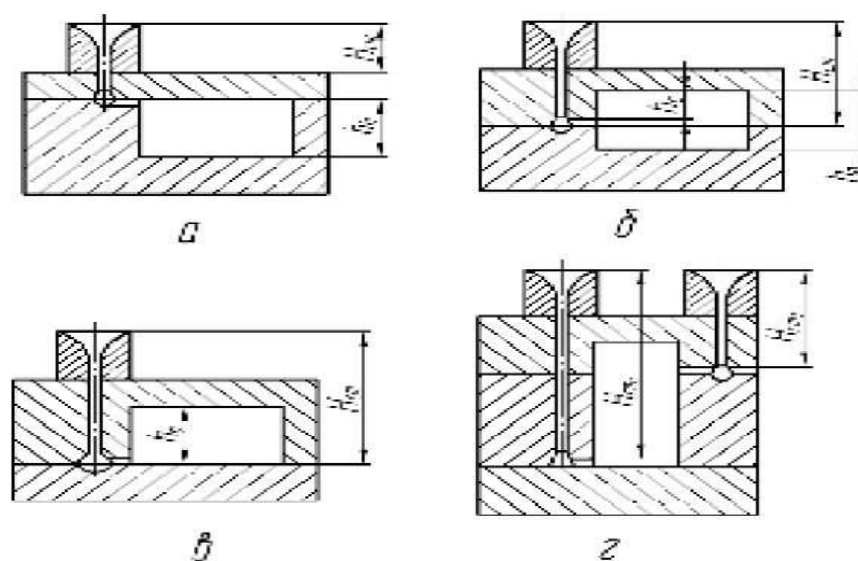


Рис.108. Схема подвода металла в форму: *a* - сверху - свободное падение; *б* - сбоку на высоты отливки с частично свободным падением; *в* - снизу - сифоном (рожковые питатели); *г* - комбинированный подвод (такой способ питания применяется при крупных отливках)

Подвод металла в разьем формы характеризуется концентрацией высоких температур у питателя, и приводит к неравномерному охлаждению отливки и пригару смеси в месте соединения питателя с отливкой (рис. 109,*a*).

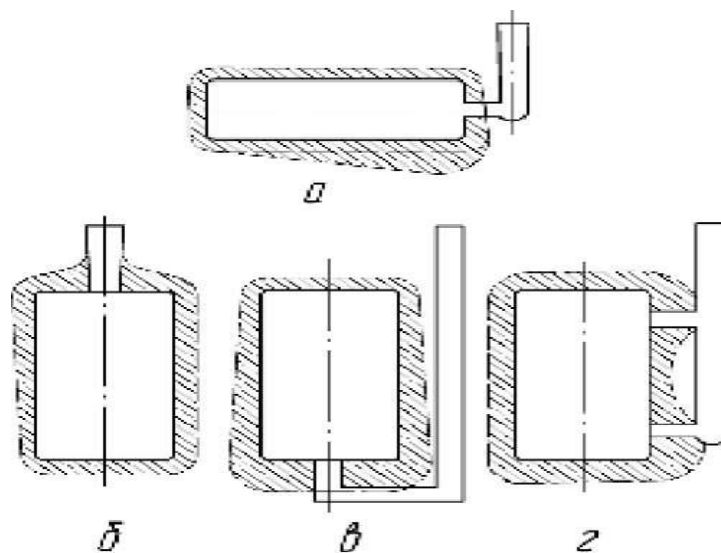


Рис. 109. Схема распределения температуры при различном методе подвода металла: *а* - питание по разъему; *б* - питание сверху; *в* - питание сифоном; *г* - этажное питание

С точки зрения равномерности распределения температур подвод металла сверху является наиболее целесообразным. На рис. 109, *б* приводится схема распределения температур при этом методе подвода металла. Данный метод подвода металла прост, но может быть применен лишь на малых деталях, так как у больших форм возможен их размыв.

Спокойное заполнение формы металлом обеспечивается при применении заливки формы снизу или сифоном. Для больших и сложных форм рекомендуется рассредоточивать систему питания металлом, для чего от шлакоуловителя делается серия питателей.

Распределение температур при сифонном методе (рис. 109, *в*), в случае подвода в одно место, неблагоприятное, так как там создается перегрев формы и пригар смеси к литниковой системе.

Для больших и сложных деталей применяется этажная заливка, при которой металл в форму подается ярусами. В этом случае заполнение формы происходит последовательно (снизу вверх).

В зависимости от высоты отливки и от ее сложности число ярусов может колебаться более двух. Для обеспечения последовательности действия каждого

яруса питателей нужно обеспечить условия, при которых сумма сечений каждого горизонтального ряда питателей была бы не меньше сечения общего питающего стояка. Распределение температур в этом случае более благоприятно. На рис. 109,з приводится схема распределения температур при этом методе подвода металла.

При выборе мест подвода металла следует руководствоваться следующими соображениями:

- при изготовлении отливок из сплавов с малой усадкой (серые чугуны с пластинчатым графитом) металл, как правило, подводят к самым тонким частям, что обеспечивает более равномерное остывание тонких и толстых стенок, уменьшение внутренних напряжений, коробления;

- к отливкам из сплавов с более высокой усадкой (стали, высокопрочные чугуны, алюминиевые бронзы), а также к отливкам, имеющим массивные узлы, расплав подводят в подприбыльные части или непосредственно в прибыли, чтобы находящийся в прибыли металл длительное время оставался в жидком состоянии и питал отливку;

- для крупногабаритных отливок с тонкими стенками применяют рассредоточенные системы питателей, которые расположены по периферии отливки (для сплавов с низкой жидкотекучестью и высокой теплопроводностью);

- если в отливках имеются обрабатываемые и необрабатываемые поверхности, то питание следует подводить к необрабатываемым поверхностям;

- после определения размеров литниковой системы ее конструируют, обращая особое внимание на то, чтобы один канал плавно с закруглениями переходил в другой, так как острые переходы уменьшают коэффициент расхода литниковых систем, а в песчаных формах представляют источник брака по засорам;

- во всех случаях необходимо избегать опасности размыва стенки формы металлом на выходе из питателя.

*Место подвода питателей для отливок из чугуна.* Для сокращения усадочных явлений в сером чугуне необходимо при разработке технологии заливки каждой детали стремиться к тому, чтобы температура металла по всем сечениям выравнивалась. Для этого существуют различные приемы, одним из которых является подвод металла в тонкие места отливки. Этим ликвидируется разогрев массивных частей отливок и достигается выравнивание температурного режима отливки. При необходимости у массивной части отливки устанавливается холодильник. Питатели необходимо располагать таким образом и в том количестве, чтобы истекающий из них металл не мог интенсивно разогреть стенку формы, горизонтальные поверхности формы быстро покрывались металлом, уровень его в форме при заливке изменялся равномерно (струя металла в процессе заливки формы не должна прерываться). Рекомендации при выборе места подвода металла в форму:

- подвод металла в тонкое место отливки способствует выравниванию скорости охлаждения тонкой и более массивной частей отливки, уменьшению напряжений и усадочных раковин;
- при расположении питателей желательно, чтобы струя не ударяла в стенку формы или стержня, горизонтальные поверхности формы быстро покрывались металлом;
- уровень металла в форме в процессе заливки не должен иметь продолжительных остановок;
- части стержней с вентиляционными каналами не должны перегреваться потоком подводящего металла;
- для чугунных отливок целесообразно система запретного типа (способствующая задерживанию шлака), сужающаяся (быстрое заполнение металлом с положительным давлением);
- для уменьшения скорости потока чугуна в каналах используются тормозящие литниковые системы. Их отличие - использование местного сопротивления - дросселя (например, в виде сетки, щели, внезапного сужения канала и последующего расширения и т.д.).

*Место подвода питателей для отливок из стали.* Для выбора числа и места подвода питателей к отливкам из стали (табл. 45) рекомендуется:

- рассредоточенный подвод металла большим количеством питателей снижает возможность местных разогревов, способствует уменьшению усадки, пористости, горячих и холодных трещин, пригара в районе подвода;
- чрезмерное уменьшение сечения питателей увеличивает торможение металла, может вызвать замедленное заполнение формы и сократить полезный эффект от рассредоточенного подвода;
- для обеспечения плотности и повышения механических свойств стальных отливок питатели необходимо подводить под прибыль или в массивные части отливок, питаемые прибылью;
- подвод металла в вертикально расположенные элементы отливок обеспечивает более высокую плотность, чем в расположенные горизонтально;
- для обеспечения заполнения тонкостенных отливок целесообразно подводить металл сверху и располагать особо тонкие стенки вертикально;
- количество металла, проходящего через тонкую стенку, число поворотов на пути металла и длина пути в тонкой стенке должны быть минимальными;
- не допускать расположения литниковой системы в непосредственной близости от стержневого знака для ликвидации противодействия газа;
- избегать расположения питателей около холодильников и жеребеек;
- осуществлять одностороннее движение металла в форме;
- при изготовлении тонкостенных стальных отливок больших габаритных размеров, металл необходимо подавать к тонким стенкам с помощью большого числа питателей.

Таблица 45

Выбор числа питателей для стальных отливок

Вес отливки, кг	Преобладающая толщина стенок, мм	
	15	15-50
Рекомендуемое число питателей		

< 10	1	-	-
10-100	2-5	1-2	1
100-1000	2-8	2-6	1-2
1000	-	3-10	2-6

Для отливок с небольшими толщинами стенок можно пользоваться следующими данными (табл. 46).

Таблица 46

Толщина стенки отливки, мм	5-8	8-12	12-18
Наибольшее количество металла, протекающего через один питатель, кг	5	15	35

## 2.26. ТИПЫ ЛИТНИКОВЫХ СИСТЕМ. ИНЖЕНЕРНЫЕ МЕТОДЫ РАСЧЕТА ЛИТНИКОВЫХ СИСТЕМ

**Типы литниковых систем.** В зависимости от места подвода расплава в полость формы применяют горизонтальные и вертикальные литниковые системы.

Горизонтальные литниковые системы (рис. 110). Они имеют питатели, расположенные в плоскости разъема формы. Обычная литниковая система состоит из расположенных в верхней полуформе воронки 1 (или чаши стояка 2), шлакоуловителя 3, выпора; в нижней полуформе выполняют питатель 4 (или питатели). Применяют такую систему при изготовлении простых по конфигурации и небольших по массе и габаритным размерам отливок.

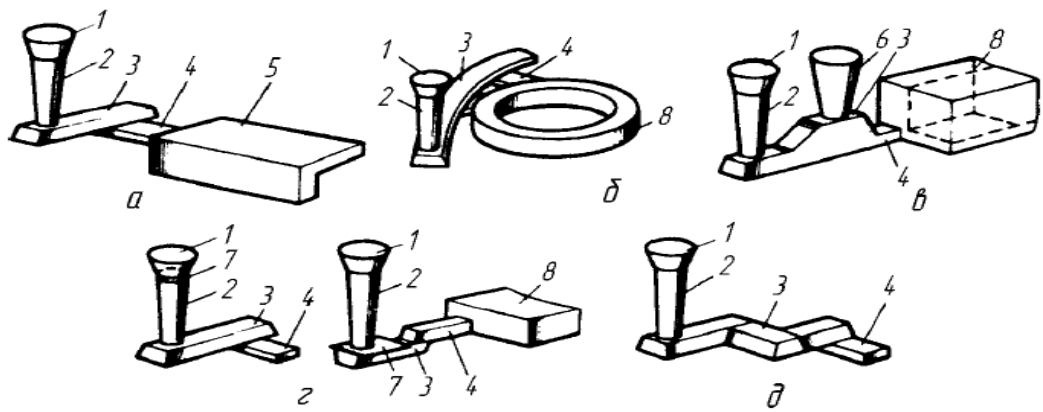


Рис. 110. Горизонтальные литниковые системы: *а* - обычная, *б* - с тангенциальным подводом металла, *в* - со шлаковыпором, *г* - с фильтром, *д* - с торможением за счет зигзагообразного исполнения шлакоуловителя

Литниковую систему с тангенциальным подводом металла в полость формы используют при изготовлении отливок типа шкивов, шестерен. При таком подводе металла более легкие примеси и шлак располагаются ближе к центру формы, а периферийная зона отливки получается качественной (рис. 110, *б*).

Для более полного удаления шлака применяют литниковые системы со шлаковыпором; при этой системе подвода металла выпор *б* устанавливают на шлакоуловитель *з*, имеющий утолщение (рис. 110, *в*). С этой же целью на уровне основания воронки или основания стояка размещают фильтр *7* (рис. 110, *г*). При изготовлении отливок большой высоты используют зигзагообразную конструкцию шлакоуловителя, тормозящего струю металла (рис. 110, *д*).

Вертикальные литниковые системы (рис. 111). Питатели вертикальной литниковой системы располагаются в вертикальной плоскости разъема формы, на нескольких уровнях или вертикально. К таким системам относят верхнюю дождевую, ярусную, иногда и сифонную. Верхняя литниковая система обеспечивает подачу расплавленного металла в полость литейной формы сверху. Упрощенную систему с верхним подводом жидкого металла через стояк *з* применяют для массивных отливок, к которым не предъявляют высоких требований по качеству (рис. 111, *а*).

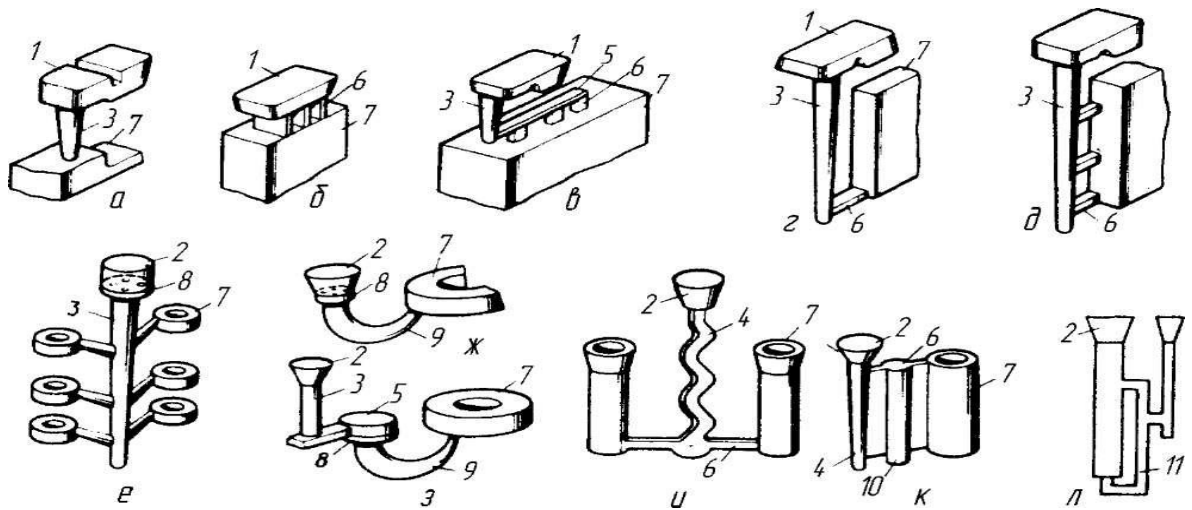


Рис. 111. Вертикальные литниковые системы: *а* - упрощенная, *б* - прямая дождевая, *в* - дождевая со шлакоуловителем, *г* - сифонная, *д* - этажная, *е* - сифонная для мелких отливок, *ж* - рожковая упрощенная, *з* - рожковая со шлакоуловителем и фильтрующей сеткой, и со змеевидным стояком, *к* - со щелевым питателем, *л* - с обратным стояком; 1 - чаша, 2- воронка, 3 - стояк, 4- змеевидный стояк, 5 - шлакоуловитель, 6 - питатель, 7 - отливки, 8- фильтро-вальные сетки, 9 - рожковые питатели, 10 - коллектор, 11 - обратный стояк

Дождевой называют литниковую систему, в которой подвод расплавленного металла осуществляется несколькими питателями *б*. В дождевой системе расплав подводится в полость формы сверху через вертикально расположенные питатели *б* или через шлакоуловители *5* и питатели *б*. При этом форма предохраняется от размыва, а в отливке *7* создаются условия для направленного затвердевания в случае непрерывного питания нижних частей отливки горячим расплавом из верхних. Однако мелкие струи жидкого металла при заливке могут окисляться; выход газов из формы затруднен. Если размер питателей не слишком велик, то такая система хорошо отделяет шлак от расплава (рис. 111, *б*, *в*).

Сифонной называют литниковую систему, обеспечивающую подачу расплавленного металла в полость литейной формы снизу. Сифонную литниковую систему используют при изготовлении отливок *7* большой высоты.



При этом устраняется разбрызгивание расплава и размыв формы. Разогрев формы в месте подвода жидкого металла создает неблагоприятные условия для затвердевания отливки. Если сифонная литниковая система подводит расплав в полость формы снизу через питатель 6 непосредственно от стояка 3, то литниковая воронка 2 в этом случае может иметь фильтрующую сетку 8. Направленное затвердевание снизу вверх при сифонной заливке затруднено, так как нижние части отливки непрерывно пополняются горячим расплавом (рис. 111,з, е).

Лучшие результаты в этом отношении обеспечивает этажная литниковая система, по ней горячий расплав поступает через верхние слои жидкого металла в полость формы, поэтому применяют двух- или многоступенчатый подвод металла. При таком рассредоточенном (по высоте отливки) подводе расплава предотвращаются окисление сплава и местный разогрев формы (рис. 111,д).

К сифонным относят литниковую систему с рожковым подводом расплава (ж), а также систему со змеевидным стояком (рис. 111,з). В рожковой системе расплав подводится в рабочую полость литейной формы снизу. Улавливание шлака осуществляется шлакоуловителем или сетками. В первом случае фильтрующую сетку помещают между шлакоуловителем и литниковым ходом, во втором - ее устанавливают в воронку. Рожковый питатель используют при литье заготовок для шестерен и зубчатых колес - деталей, у которых недопустимы дефекты в местах нарезания зубьев. Змеевидный стояк используют для торможения струи расплава, если отливка имеет большую высоту.

Следует отметить, что при изготовлении форм для стальных отливок не применяют сложных шлакоулавливающих устройств, так как сталь заливают в формы преимущественно через стопорные ковши, стремясь уменьшить потери теплоты.

При изготовлении высоких отливок, чтобы ослабить ударную силу струи металла и предохранить форму от местного разогрева, применяют вер-

тикальную щелевую литниковую систему (рис. 111,к) или комбинированную - с обратным стояком (рис. 111,л).

**Расчет литниковой системы при заливке из поворотного ковша.** методика расчета литниковой системы основана на определении продолжительности и скорости заливки металла в форму.

**Определение оптимальной продолжительности заливки.** Продолжительность заливки формы определяется требованиями термической однородности отливки и способами подвода металла (сверху или снизу, в тонкие или толстые места).

При подводе металла снизу и питании из верхних прибылей (питание сверху) заливка должна проводиться быстро.

При медленной заливке возникает опасность перевода усадочной раковины из прибыльной части в тело отливки.

При подводе металла сверху отливки и питании ее из верхней прибыли заливка должна производиться с минимальной скоростью.

При таком режиме заливки величина усадочной раковины уменьшается и концентрируется в прибыльной части.

При отливке деталей с толстыми стенками быстрый подвод металла приводит к уменьшению термической неоднородности ее. Аналогичное явление имеет место и при медленном подводе металла к тонкостенным отливкам.

Минимальная продолжительность заливки формы определяется: возможностью полного удаления из формы и стержня воздуха и газов; необходимостью минимального размывания формы и стержней; минимальным ударом металла о верхнюю плоскость формы в конце ее заполнения; получением отливки с минимальным увеличением ее размера.

Максимальная продолжительность заливки формы определяется возможностью: обеспечения металлу необходимой жидкотекучести; создания необходимой скорости поднятия металла в форме с целью избежания образования на поверхности отливки «заворотов» и «спаев».

Расчет литниковых систем по методу Дубицкого дает удовлетворительные результаты для мелкого стального литья при заливке форм из поворотных ковшей через носок и для среднего и крупного литья при заливке форм из стопорных ковшей [3].

Расчет производят, начиная с определения оптимального времени продолжительности заливки, затем проверяют скорость подъема уровня металла в форме и, наконец, определяют суммарную площадь сечения питателей.

Величина оптимальной продолжительности заливки формы определяется по формуле (уравнение Дубицкого Г.М.)

$$\tau = S_1 \times \sqrt[3]{\delta \times Q},$$

где  $S_1$  - коэффициент продолжительности заливки, зависящий от рода сплава, температуры заливки, места подвода металла;  $\delta$  - преобладающая толщина стенки отливки, мм;  $Q$  - вес жидкого металла в форме, кг.

Значение коэффициента  $S_1$  для отливок из стали приведено в табл. 47. Значение коэффициента  $S_1$  для чугунных отливок принимают 2; для алюминиевых 2,4.

Вес жидкого металла в форме складывается из черного веса отливки, литниковой системы и прибыли

$$Q = Q_{\text{ч}} + Q_{\text{л.с}} + Q_{\text{пр}},$$

где  $Q_{\text{ч}}$  – черновой вес отливки, кг;  $Q_{\text{л.с}}$  – вес литниковой системы, кг;  $Q_{\text{пр}}$  – вес прибыли, кг.

Значение коэффициента S

Температура металла и жид котекучесть	Способ подвода металла		
	снизу - сифоном или в толстостенные части отливки	на половине высоты или этажный	сверху или равномер- ный подвод в тонко- стенные части отливки
Нормальные	1,3	1,4	1,5-1,6
Повышенные	1,4-1,5	1,5-1,6	1,6-1,8

Черновой вес отливки складывается из чистого веса детали, припусков на механическую обработку и припусков на обрезку литников и прибыли.

Расход на литниковую систему  $Q_{л.с}$  принимается равным 3-10 % от черного веса отливки и веса прибыли

$$Q_{л.с} = (Q_{ч} + Q_{пр}) \times (3 \div 10)\% .$$

При этом большая величина принимается для мелкого литья. Найденное время рекомендуется проверить соотношением

$$v = \frac{H}{\tau} ,$$

где  $v$  – скорость подъема металла в форме, см/с;  $H$  – высота отливки по положению при заливке, см.

При толщине стенок 7-10 мм скорость подъема должна быть не менее 20 мм/с; при толщине 10-40 мм - более 10 мм/с; при толщине более 40 мм - более 8 мм/с.

Если скорость охлаждения недостаточная, то нужно уменьшить время заливки или же изменить положение отливки в форме.

**Определение площади сечения питателей при заливке из поворотного ковша.** Площадь узкого сечения литниковой системы ( $F_{пит}$ ) рассчитывают по Формуле

$$F_{уз.пит} = \frac{Q}{\tau_{опт} \times \rho \times \mu_0 \times \sqrt{2g \times H_p}} ,$$

где  $Q$  – вес отливки с прибылями и литниками, кг;  $\tau_{\text{опт}}$  – оптимальная продолжительность заливки форм металлом, с;  $\rho$  – плотность металла, кг/м<sup>3</sup>;  $\mu_0$  – коэффициент расхода металла в форме;  $g$  – ускорение силы тяжести, м/с<sup>2</sup>;  $H_p$  – расчетный (средний) металлостатический напор металла в форме, м.

Значение коэффициента расхода  $\mu_0$  для чугунных и стальных отливок приведено в табл.48

Таблица 48

Значение коэффициента $\mu_0$ для стального литья			
Характер заливаемой формы	Сопротивление формы		
	большое	Среднее	Малое
Сырая	0,25 (0,35)	0,32 (0,42)	0,42 (0,50)
Сухая	0,30 (0,41)	0,38 (0,48)	0,50 (0,70)

*Примечание.* В скобках приведены значения для чугунного литья.

Влияние различных факторов на величину коэффициента  $\mu_0$  приведено в табл.49

Таблица 49

Влияние различных факторов на величину коэффициента  $\mu_0$

Фактор, влияющий на величину коэффициента $\mu_0$	Изменение коэффициента $\mu_0$ , взятого из табл. 79
Повышенная температура заливки	до +0,05
наличие открытых выпоров и прибылей (в зависимости от отношения общей площади сечения выпоров и прибылей к общей площади сечения питателей)	от $\pm 0,05$ до $\pm 0,30$
Большие сечения стояка и шлакоуловителя по сравнению с сечением питателей ( $F_{\text{ст}}/F_{\text{пит}} > 2$ ; $F_{\text{шл}}/F_{\text{пит}} > 1,5$ )	от $\pm 0,05$ до $\pm 0,20$
Разветвленная литниковая система (большое число питателей)	от -0,05 до -0,10
Малая газопроницаемость формы (при отсутствии открытых выпоров и прибылей)	-0,05

*Примечание.* Максимально возможное значение коэффициента не должно превышать 0,80.

Расчетный (средний) металлостатический напор расплава определяется по формуле

$$H_p = H - \frac{P^2}{2c},$$

где  $P$  – высота отливки над питателем, м;  $c$  – высота отливки по положению в форме, м.

Схема к расчету металлостатического напора расплава в форме ( $H_p$ ) приведена на рис. 112.

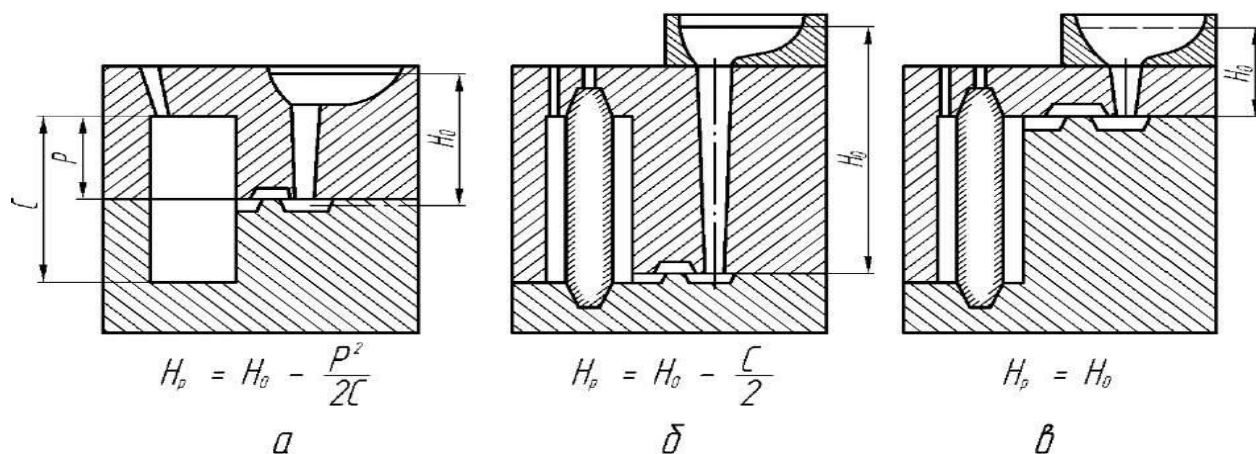


Рис. 112. Схема к расчету среднего металлостатического напора расплава в форме

В табл. 50 приведены соотношения между сечением элементов литниковой системы.

Таблица 50

Соотношение между сечениями литниковой системы

Характеристика отливки	Рекомендуемые соотношения размеров	Характеристика литниковой системы
Мелкие и средние отливки из чугуна	1,0 : 1,1 : 1,2	Сужающаяся
Крупные отливки из серого чугуна	1,0 : 1,2 : 1,4	То же
Мелкие стальные отливки	1,0 : 1,1 : 1,2	« «
Средние и крупные стальные отливки	(1,0-1,5): 1,0 : 1,0	Расширяющаяся
Отливки из алюминиевых сплавов	3,0 : 2,0 : 1,0	То же

## 2.27.ХОЛОДИЛЬНИКИ ДЛЯ СТАЛЬНЫХ И ЧУГУННЫХ ОТЛИВОК

*Внутренние холодильники.* Этот тип холодильников обеспечивает равномерное направленное затвердевание стенок отливки. При правильном расположении внутренних холодильников происходит выравнивание скорости охлаждения различных частей отливки, что приводит к снижению литейных напряжений. На основании исследования процессов, сопровождающих затвердевание стали с внутренними холодильниками установлено:

1. Установка внутренних холодильников приводит к понижению однородности свойств стали в отливке.

2. При правильном расположении внутренних холодильников происходит выравнивание скорости охлаждения различных частей отливки, что приводит к снижению литейных напряжений, уменьшению ликвации углерода, серы и фосфора и понижению расхода стали для пополнения образовавшегося объема усадочной раковины.

3. Необеспечение направленного затвердевания в междухолодильниковом пространстве и связанное с этим недостаточное питание приводят к развитию межденритной пористости в таком пределе, при котором она переходит в усадочную рыхлость и получается связанное с этим понижение пластических свойств стали в отливке.

Внутренние холодильники устанавливаются при сборке формы. В форме холодильники устанавливаются на гвоздях или специальных угольниках, которые вставляются в наколы, выполненные в форме перед ее сушкой. При установке большого количества холодильников в формы они укладываются крест-накрест штабелем, причем плотность укладки их снизу вверх уменьшается. Расстояние от поверхности отливки до холодильников должно быть не менее двух диаметров самих холодильников.

Ржавчина и окалина на поверхности холодильников способствуют образованию в отливке газовых раковин, что приводит к полной или частичной

несвариваемости холодильников с основным металлом в форме. В результате механическая прочность отливки понижается.

Материал внутреннего холодильника принимается близким по химическому составу к материалу отливки. В качестве материала для холодильника может приниматься проволока диаметром 6-12 мм прутковая сталь, стружка, гвозди специальные и строительные, обрезки от поковок и проката (при крупных отливках). Перед постановкой холодильника в форму поверхность его должна быть очень хорошо очищена от окалины, грязи, масла и т.д. Стружку, применяемую в качестве холодильника, прокаливают в печи.

Для определения веса холодильников можно рекомендовать формулу Ю.А. Нехендзи, основанную на определении разности количества тепла между толстой (охлаждаемой) и тонкой частью отливки и на приравнении ее количеству тепла, которое поглощает холодильник [2]:

$$g_x(c_x\Delta T + \omega) = (g_1 - g_2) \times [c(T_{\text{ж}} - T_3) + \omega];$$
$$g_x = \frac{(g_1 - g_2) \times [c(T_{\text{ж}} - T_3) + \omega]}{c_x\Delta T + \omega} \approx 0,28(g_1 - g_2),$$

где  $g_x$  – вес внутреннего холодильника, кг;  $g_2$  – вес толстой (охлаждаемой) части отливки, кг;  $g_1$  – вес тонкой части отливки, кг;  $c$  – теплоемкость материала отливки (принимается  $c = 0,195$  ккал/кг $^{\circ}$ С);  $T_{\text{ж}}$  – температура жидкого металла (во время заливки);  $T_3$  – температура затвердевания металла (для упрощения расчета принимается  $T_{\text{ж}} - T_3 = 100$   $^{\circ}$ С);  $\omega$  – скрытая теплота затвердевания (принимается  $\omega = 64$  ккал/кг);  $c_x$  – теплоемкость материала холодильника ( $c_x = 0,16$  ккал/ кг $^{\circ}$ С);  $\Delta T$  – подъем температуры холодильника за период затвердевания (принимается  $\Delta T = 1450$   $^{\circ}$ С).

В табл. 51 приведены практические данные о весе холодильников в зависимости от веса отливки. На рис. 113, А приводятся различные способы крепления холодильников в форме, на рис. 117, Б - способы охлаждения узлов отливки при помощи разных видов холодильников.



Вес внутренних холодильников, % от веса отливки

Характер отливки	Материал холодильников	
	прутковое железо, обрезки проката	гвозди, шпильки, стружка
Мелкие и средние отливки	2-5	4-6
Крупные отливки (шаботы, копровые бабы и т.д.)	5-10	-

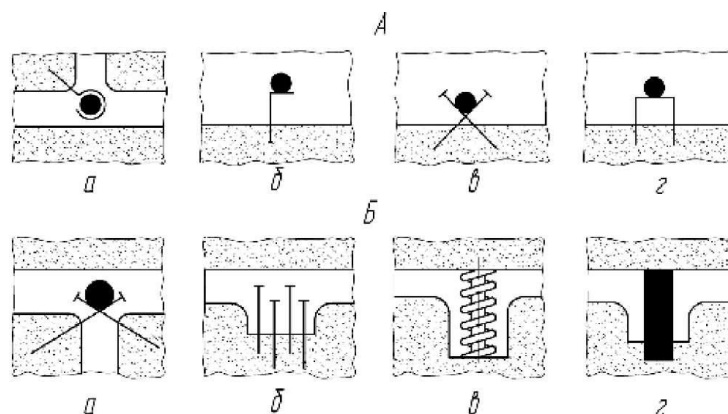


Рис. 113. Виды холодильников и методы их крепления: *A* - способы крепления: *a* - на круглом крючке; *б* - на прямом крючке; *в* - на двух гвоздях; *г* - на скобе; *B* - виды холодильников: *a* - охлаждение узла прутом на гвоздях; *б* - охлаждение бобышек гвоздями; *в* - охлаждение бобышек проволоочной спиралью; *г* - охлаждение бобышек прутом, установленным в знаке

Для определения веса холодильника может быть использована диаграмма, приведенная на рис.114 [2].

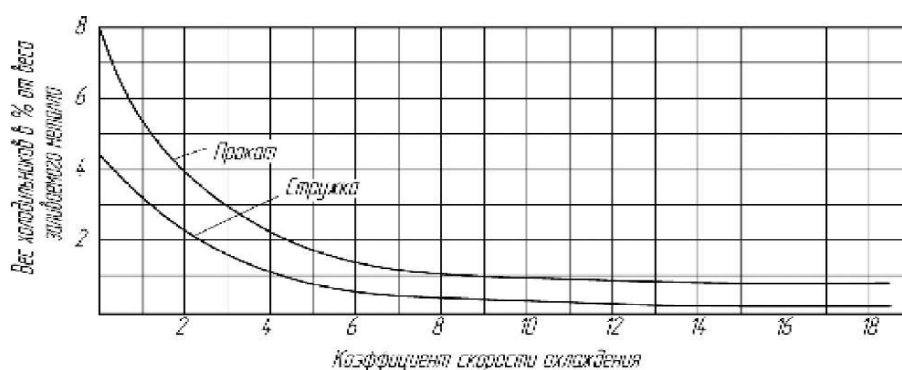


Рис. 114. Диаграмма для определения веса холодильников

Коэффициент скорости охлаждения металла в узле определяется как отношение веса охлажденного узла к его объему. Расчет ведется в дециметрах. Величина веса холодильника, взятая по диаграмме, является максимально допустимой.

Диаметр холодильника  $d_x$  выбирается в зависимости от размера охлаждаемого узла  $D_v$  в соотношении

$$d_x = \frac{1}{4} D_y \div \frac{1}{10} D_y$$

или соответственно 6,25-1,0 % от площади захлаживаемого узла. В тех случаях, когда используются в качестве холодильника спирали с сердечником, руководствуются принципом более рассредоточенного их действия. В этом случае диаметр проволоки спирали  $d$  определяется по отношению к диаметру захлаживающего узла  $D_y$  по формуле

$$d_{\text{сп}} = \frac{1}{15} D_y \div \frac{1}{20} D_y,$$

а диаметр прутка-сердечника  $d_{\text{пр}}$  – из соотношения

$$d_{\text{пр}} = \frac{1}{7} D_y \div \frac{1}{10} D_y$$

или приблизительно  $d_{\text{пр}} = 2d_{\text{сп}}$ . Соотношения площадей проволоки спирали, прутка и захлаживаемого узла составляют 0,44-0,25 % для спирали и 2,0-1,0 % для прутка.

С целью предотвращения понижения механических свойств стали в захлаживаемой части отливки рекомендуется вес холодильника брать не больше 5 % от веса охлаждаемой части отливки. Для неответственных узлов отливок эта величина может быть повышена до 6-7 %. При изготовлении особо крупных отливок (шаботы и т.д.) вес холодильников может быть увеличен до 10 %. Расположение холодильников может стать причиной ряда дефектов в отливке.

Горизонтальные поверхности холодильников могут вызвать газовые пузыри и раковины. Располагать холодильники нужно так, чтобы газы, выделяющиеся при соприкосновении расплавленного металла с холодильником, спокойно удалялись и не задерживались в затвердевающем слое металла.

На рис. 115 приводятся примеры правильного и неправильного расположения холодильников.

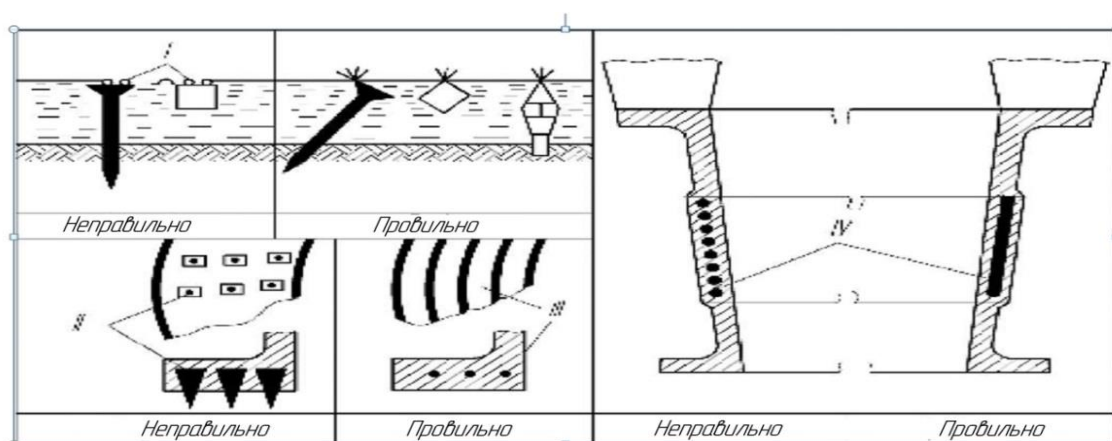


Рис. 115. Правильное (справа) и неправильное (слева) положение внутренних холодильников в форме: *I* - газовые пузыри, образующиеся на горизонтальной поверхности; *II* - подкорковые гвозди, создающие плоскости «слабины»; *III* - рамка из круглого железа; *IV* - холодильники в виде круглого железа, расположенные поперек питания (слева) и в направлении питания (справа)

При установке гвоздей рядами для захлаживания участков отливок типа фланцев толщиной около 30 мм при плохой свариваемости создаются слабины, расположенные перпендикулярно к направлению действующих усилий, что обычно приводит к образованию трещин. В этом случае лучше ставить холодильник в виде рамки. При охлаждении большого вертикального участка холодильники нужно располагать по вертикали, и они должны быть поставлены из круглого железа.

Расстояние между холодильниками с толщиной проволоки до 6 мм обычно принимается 120-140 мм, для более толстых холодильников - 150-250 мм. Длина прутков толщиной до 6 мм не превышает 300-400 мм, а более толстых 400-800 мм.

**Наружные холодильники.** Эффективность наружных холодильников ниже внутренних, но используются они чаще, благодаря тому, что не нарушают

однородности отливки и не создают опасности образования газовых раковин от окисленной своей поверхности.

Внешние холодильники применяются для выравнивания охлаждения узлов, фланцев, полок и т.д. На рис. 116 приводятся примеры охлаждения элементов отливки. На рис. 117 приводится схема комбинированного охлаждения крестообразного узла.

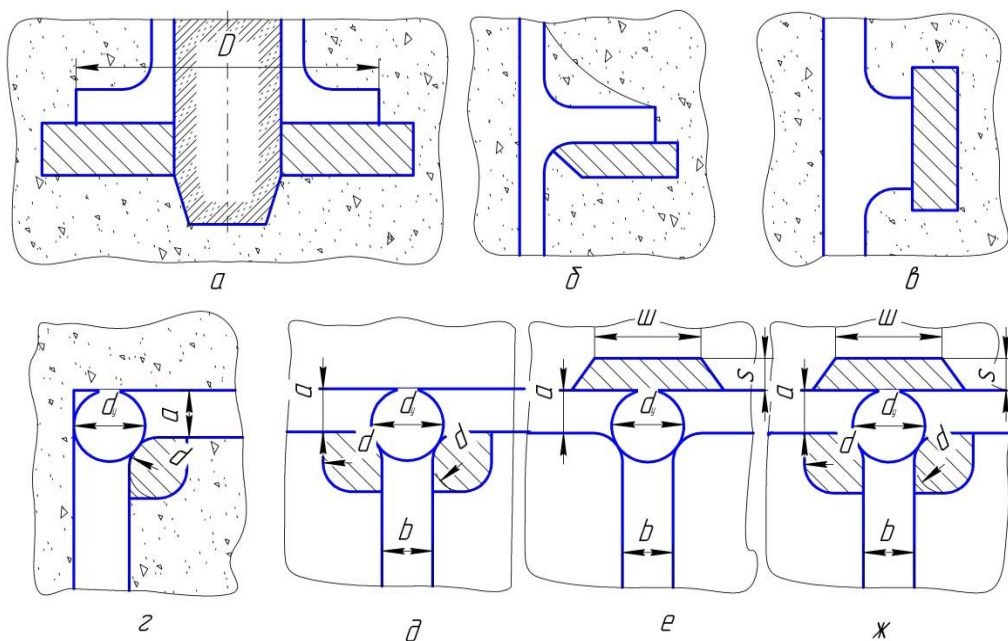


Рис. 116. Расположение наружных холодильников: *а* - охлаждение фланца дисковым холодильником; *б* - охлаждение полки кронштейна пластинчатым холодильником; *в* - охлаждение бобышки пластинчатым холодильником; *г* - охлаждение прямого узла фасонным холодильником; *д* - охлаждение Т-образного узла двумя фасонными холодильниками; *е* - охлаждение Т-образного узла пластинчатым холодильником; *ж* - охлаждение Т-образного узла двумя фасонными и одним пластинчатым холодильником.

Размеры холодильников для фланцев и узлов принимаются в соответствии с данными табл. 52. Нетехнологичная конструкция отливки заставляет прибегать к частому использованию холодильников. Примером могут служить отливки с крестообразными «термическими узлами»; получить такие отливки без усадочной раковины обычным путем невозможно без переконструирования их.

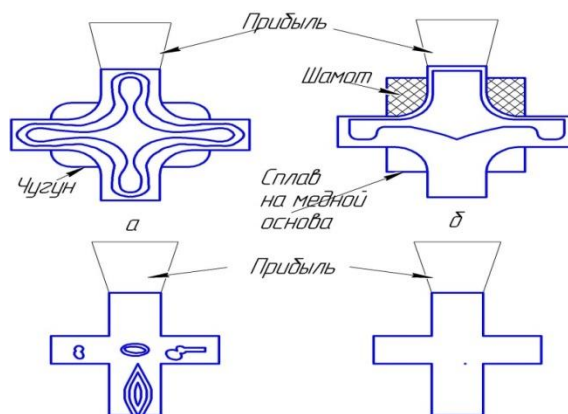


Рис. 117. Схема затвердевания крестообразного узла отливки: *а* - при применении только металлических холодильников; *б* - при применении теплоизоляционных и холодильных материалов; *в* - схема дефекта, обнаруженного рентгеном при затвердевании соответственно по схеме *а*; *г* - отливка без дефектов

Таблица 52

Размеры холодильников для различных узлов отливки

Вид узла и положение холодильника	Размеры узлов, мм		Размеры холодильника, мм		
	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>D</i>	<i>T<sub>o</sub></i>	Ш
Прямой узел (рис. 120,з)	до 25	до 25	$(0,5-0,8)d_y$	-	-
	свыше 25	свыше 25	$(0,5-$	-	-
	до 25	свыше 25	$0,8)d_y(0,4-0,6) d_y$	-	-
Т-образный узел (рис. 120,д)	до 20	свыше 20	$(0,5-$	-	-
	до 20	до 20	$0,6)d_y(0,3-$	-	-
	свыше 20	свыше 20	$0,4)d_y(0,5-$	-	-
	свыше 20	до 20	$0,6)d_y(0,3-0,4)d_y$	-	-
То же (рис. 120,е)	до 20	свыше 20	-	$(0,5-$	$(2,5-3,0)b$
	до 20	до 20	-	$0,6)a(0,5-$	$(2,0-2,5)b$
	свыше 20	свыше 20	-	$0,6)a(0,6-$	$(2,5-3,0)b$
	свыше 20	до 20	-	$0,8)a(0,6-0,8)a$	$(2,0-2,5)b$
То же (рис. 120,жс)	до 20	свыше 20	$(0,4-$	$(0,4-$	$(2,5-3,0)b$
	до 20	до 20	$0,5)d_y(0,3-$	$0,5)a(0,4-$	$(2,0-2,5)b$
	свыше 20	свыше 20	$0,4)d_y(0,4-$	$0,5)a(0,5-$	$(2,5-$
	свыше 20	до 20	$0,5)d_y(0,3-0,4)d_y$	$0,6)a(0,5-0,6)a$	$3,0)b(2,0-2,5)b$

Минимальные размеры плоских холодильников, служащих для ликвидации обособления жидкого металла при затвердевании утолщений, приведены в табл. 53.

Наиболее благоприятной формой сечения холодильника является трапеция. При этом его охлаждающее действие к краям постепенно снижается и не вызывает резких перепадов температуры в сопряжении поверхностей холодильника и песчаной стенки.

Таблица 53

Размеры плоских холодильников			
Толщина основной стенки, мм	Высота утолщения, % от толщины основной стенки		
	25	37,5	50
Толщина холодильников, мм			
10	3	8	15
20	5	15	30
30	8	23	45
40	10	30	60
50	13	38	75

Наружные холодильники могут быть прямолинейные круглого, квадратного или иного профиля; криволинейные постоянного профиля и фасонные переменного профиля. Холодильники из проката используются для толстостенных отливок, чугунные - при производстве тонкостенных стальных отливок. Холодильники могут контактировать непосредственно с отливкой (через изолирующий слой краски) или через слой формовочной смеси. При этом холодильники могут быть с регулируемым отбором тепла при помощи прохождения в них воздуха, воды, пара и т.д.

Наряду с металлическими холодильниками используют захолаживающие смеси, которые формируют выступающие части стержней или форм, подверженных интенсивному нагреву заливаемой стали. В состав смеси

входят хромомagnesит, хромит, магнезит, чугунная дробь, металлическая стружка и др.

Для стальных отливок рекомендуется определять размеры наружных холодильников из чугуна на основе отношений из табл. 54.

Для внутренних холодильников рекомендуются отношения, приведенные в табл. 54.

Таблица 54

Тип сопряжения стенок отливки	L-образный	T-образный	X-образный
Диаметр внутреннего холодильника относительно толщины основной стенки, %	27	50	70

Если в течение всего процесса заливки формы место расположения наружного холодильника промывается жидким металлом, то в подобных случаях снижается эффективность действия холодильника. На рис. 118 приведены примеры использования внешних холодильников для ликвидации ряда дефектов.

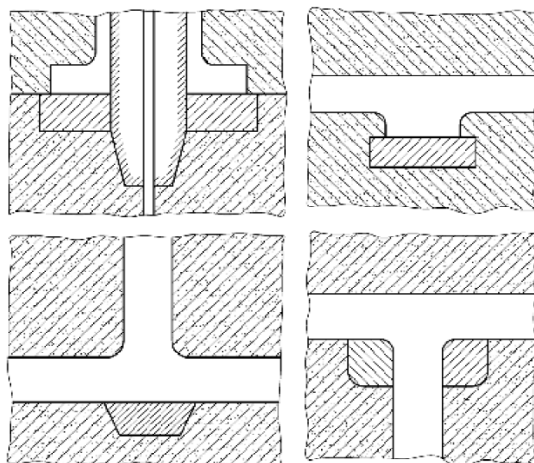


Рис. 118. Применение внешних холодильников

**Чугун.** Регулирование скорости охлаждения тепловых узлов отливки производится с помощью внутренних и наружных холодильников. Установка холодильников ускоряет охлаждение тепловых узлов, что необходимо для

обеспечения направленного или объемного затвердевания отливки. Ускоряя охлаждение узла, холодильник предотвращает образование в нем усадочной раковины, так как теперь узел успевает пропитаться за счет позднее затвердевающих частей отливки. Ускорение охлаждения массивных сечений отливок холодильниками, способствуя выравниванию скорости охлаждения, может привести к уменьшению внутренних напряжений, снижению коробления отливки и опасности образования трещин.

Наружные холодильники делаются чаще всего из стали, а фасонные отливаются из чугуна. Максимальная толщина плоских наружных холодильников обычно не превышает 70 мм, наибольший диаметр крупных наружных холодильников из прутка - 40-45 мм.

При использовании холодильников рекомендуется:

- площадь наружных холодильников должна быть меньше площади охлаждаемого теплового узла во избежание преждевременного затвердевания прилегающих к тепловому узлу частей отливки, через который поступает жидкий металл от прибыли;

- в качестве наружных холодильников можно использовать введение воды в необходимые места верхней полуформы после образования корки затвердевшего металла;

- наружные холодильники должны быть не сплошными, а в виде отдельных плиток, брусков и т.д. Зазоры между отдельными холодильниками необходимо тщательно заделывать во избежание появления заливов;

- масса внутренних холодильников не должна превышать 4,0-4,5 % массы охлаждаемого узла отливки, иначе не произойдет их прочное соединение со сплавом отливки.

Расчет различных холодильников (плоских, угловых, внутренних, наружных) для различных сталей и чугунов может выполняться в составе автоматизированной системы «Моделирование объемного и направленного отверждения».



## 2.28.ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГАБАРИТОВ ОПОК И РАСЧЕТ КРЕПЛЕНИЯ ФОРМ

Размеры опоки определяют после выбора положения модели в форме, поверхности разъема, а также величины и конфигурации знаков стержней.

При выборе размеров опоки руководствуются тем, что должен максимально использоваться объем литейной формы и обеспечиваться прочность формы при изготовлении, транспортировке и заливке металлом. Выбор размеров опоки производится одновременно с выбором машин для изготовления форм с целью более полной их загрузки.

За основу при определении размеров опоки принимают наименьшую допустимую толщину слоя смеси, окружающую отливку. Этот слой должен быть достаточно прочным, чтобы не разрушаться под давлением жидкого металла при заливке формы.

Расстояние между моделью и стенками опоки для отливок различной массы определяется по табл. 55, 56 и рис.119, 120.

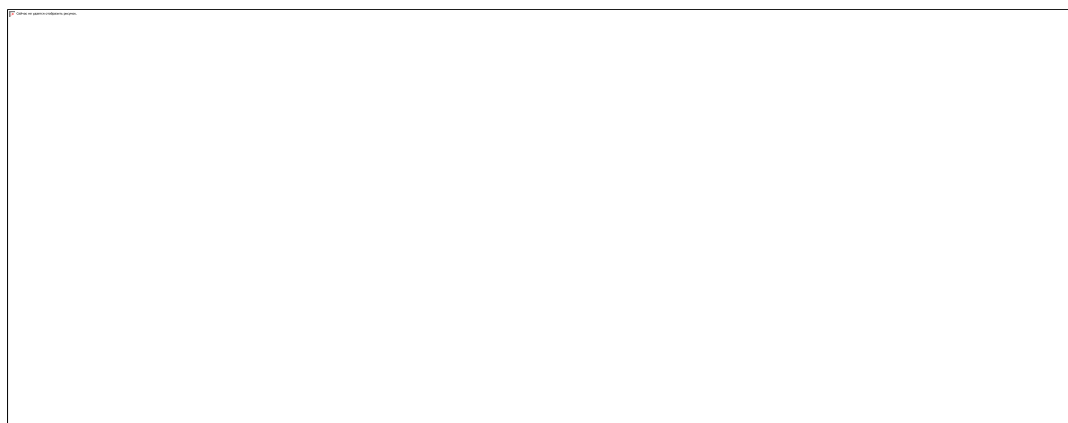


Рис. 119 Схема определения расстояния между моделью и стенками опоки при горизонтальной заливке:  $H$  - высота части отливки с минимальным расположением от стенки опоки;  $H_1$  - максимальная высота отливки;  $A$  - расстояние между моделью, краем литниковой системы и боковыми стенками опоки;  $B$  - расстояние между отливкой и верхом опоки;  $B$  - расстояние между отливкой и низом опоки;  $t$  - расстояние от знака модели до шпон опоки;  $F$  - допустимая длина (ширина, диаметр) части модели, при которой за высоту в табл. 86, 87 принимается  $H_1$ , при  $P > 50$  мм за высоту принимать  $H$ .

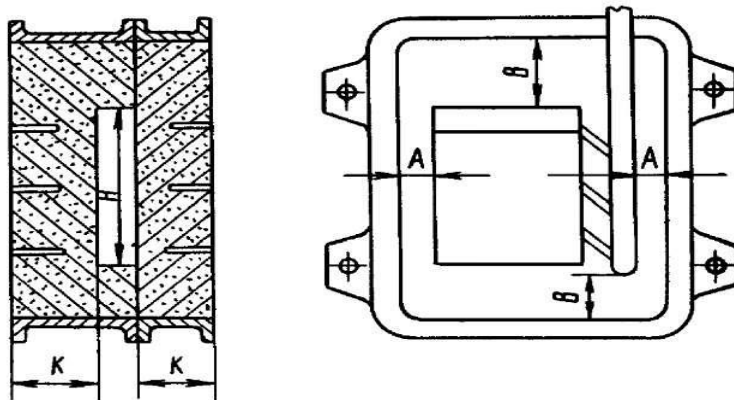


Рис. 120. Схема для определения расстояния между моделью и стенками опоки при вертикальной заливке

Размеры А, Б и В определяются по табл. 86, 87 в зависимости от веса и высоты отливки ( $H, H_i$ ). Расстояние  $\eta$  принимается равным не менее 20 мм. Расстояние от модели до кромки опоки К принимается равным  $1,2B$ . Размеры А и В определяются по табл. 55, 56.

Расстояние между двумя моделями, формируемыми в одной опоке, принимается равным:

- при формовке в опоках с размерами 400x500 мм - 0,8-1,0 А;
- при формовке в опоках с размерами 700x800 мм - 1,1-1,2 А;
- при формовке в опоках с размерами 1200x900 мм - 1,3-1,5 А;
- при формовке в опоках с размерами 1200x1600, 1600x2000, 1600x2500 мм - 2,0-2,5 А.

Формы высотой более 1 м необходимо устанавливать в яму-кессон и дополнительно забивать формовочной смесью.

Расстояние между смежными моделями по мере увеличения высоты и протяженности сопрягаемых поверхностей необходимо увеличивать, особенно в верхних полуформах, в целях удержания на весу выступающих болванов, образующихся между моделями.

Для изготовления форм могут использоваться цельнолитые опоки из стали, чугуна и легких цветных сплавов, сварные из проката и литых стальных элементов и сборные из стальных и чугунных элементов.

**Загрузка собранных форм, расчет груза.** После изготовления полуформ осуществляют сборку формы и ее крепление. Крепление может производиться за счет наложения груза на верхнюю полуформу или применения специальных скоб. Для определения массы груза или расчета прочности скоб необходимо знать усилия, действующие на верхнюю полуформу.

При заливке форм без стержней, например, типа плиты (рис. 121), возникающее от действия усилие на верхнюю полуформу ( $P_{\phi}$ ) можно определить из уравнения

$$P_{\phi} = H \times F \times \rho_{\text{Ме}} \times q,$$

где  $H$  – высота столба металла от уровня в чаше до поверхности приложения силы, м;  $F$  – горизонтальная проекция поверхности приложения силы, м<sup>2</sup>;  $\rho_{\text{Ме}}$  – плотность металла, кг/м<sup>3</sup>;  $q$  – ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>.

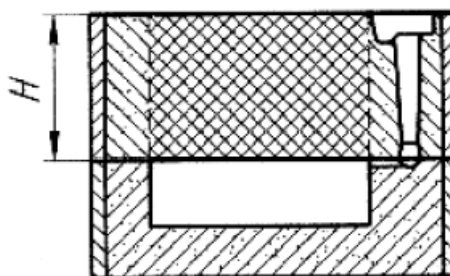


Рис.121. Форма без стержней

Для определения усилия  $P_{\text{расч}}$ , которое должно выдержать крепление опок за счет скоб или груза, из  $P_{\phi}$  необходимо вычесть усилие, создаваемое верхней полуформой, т.е.

$$P_{\text{расч}} = q \times (H \times F \times \rho_{\text{Ме}} - Q),$$

где  $Q$  – масса верхней полуформы, кг.

Масса груза  $M$ , необходимого для крепления полуформ, определится как

$$M = H \times F \times \rho_{\text{Ме}} - Q.$$

Чтобы учесть гидравлический удар металла при заполнении формы нужно полученный результат увеличить на 30 %. Тогда

$$M = 1,3 \times (H \times F \times \rho_{\text{Ме}} - Q).$$

Действующее на горизонтальную площадь формы, равно весу столба металла над отливкой высотой до уровня металла в литниковой чаше или воронке. Поэтому при изготовлении более сложных форм  $P_{\phi}$  проще определить по уравнению

$$P_{\phi} = q \times \rho_{\text{Мс}} \times (V_{\text{общ}} - V_{\text{отл}}),$$

где  $V_{\text{общ}}$  – общий объем столба металла в верхней полуформе, включая объем отливки,  $\text{м}^3$ ;  $V_{\text{отл}}$  – объем отливки в верхней полуформе,  $\text{м}^3$ .

Остальные пункты определения  $M$  груза выполняются в такой же, как рассмотрено выше, последовательности.

При заливке форм со стержнями, например, типа втулки (рис. 122), на верхнюю полуформу дополнительно оказывает влияние усилие от всплытия стержня  $P_c$ , т.е.

$$P_c = q \times V_{\text{ст}} \times (\rho_{\text{Мс}} - \rho_{\text{ст}}),$$

где  $V_{\text{ст}}$  – объем тела стержня,  $\text{м}^3$ ;  $\rho_{\text{ст}}$  – плотность стержня,  $\text{м}^3$ .

Тогда

$$P_{\text{общ}} = P_{\phi} + P_c.$$

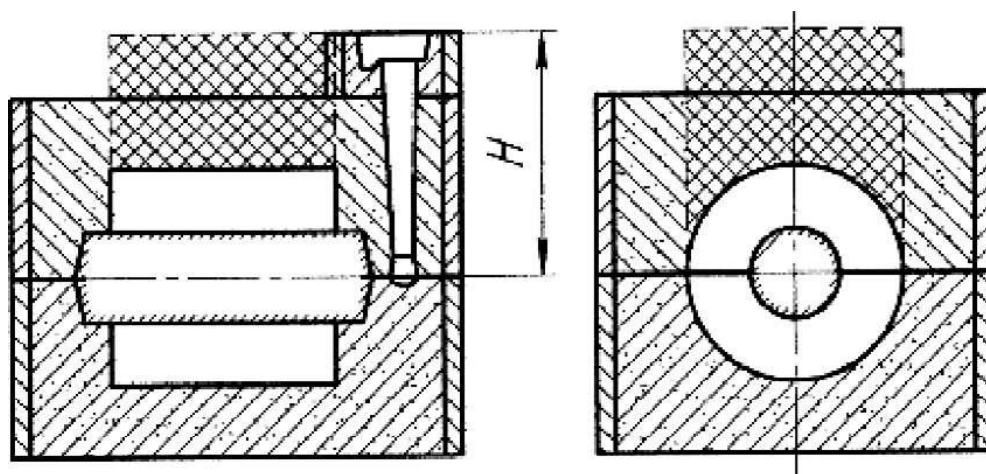


Рис. 122. Форма со стержнем

Расстояние моделей от стенки и ребер опок при ручной формовке, мм

Масса отливки, кг	А приН или Н <sub>1</sub>													Б	В
	до 50	26-50	51-100	101-150	151-200	201-400	401-600	601-800	801-1000	1001-1200	1201-1400	1401-1600	1601-1800		
до 5	30	40	40	40	50	50	-	-	-	-	-	-	-	35	40
6-10	40	40	40	50	50	50	-	-	-	-	-	-	-	40	50
11-25	40	40	40	50	50	50	-	-	-	-	-	-	-	50	60
26-50	40	40	50	50	50	60	60	70	-	-	-	-	-	70	80
51-100	40	50	50	50	60	60	70	70	80	80	-	-	-	80	90
101-250	50	50	50	60	60	70	70	80	80	90	90	100	-	90	100
251-500	60	60	70	70	80	80	90	90	90	100	100	130	-	100	125
501-1000	-	80	80	90	90	100	100	100	130	130	150	150	170	150	175
1001-2000	-	90	100	100	100	130	130	130	150	150	150	170	180	175	200
2001-3000	-	100	100	100	130	130	130	150	150	170	170	190	200	200	250
3001-4000	-	100	130	130	150	150	150	170	170	190	190	200	200	225	275
4001-5000	-	-	130	150	150	150	180	180	180	200	200	230	230	250	300
5001-10000	-	-	175	200	200	220	220	240	240	260	260	280	280	300	350

Расстояние моделей от стенки и ребер опок при машинной формовке, мм

Масса отливки, кг	А при $H_1$													Б	В
	до 50	26-50	51-100	101-150	151-200	201-400	401-600	601-800	801-1000	1001-1200	1201-1400	1401-1600	1601-1800		
до 5	20	30	30	30	40	40	-	-	-	-	-	-	-	35	40
6-10	30	30	30	40	40	40	-	-	-	-	-	-	-	40	50
11-25	30	30	30	40	40	40	-	-	-	-	-	-	-	50	60
26-50	30	30	40	40	40	50	50	50	-	-	-	-	-	70	80
51-100	30	40	40	40	50	50	50	50	-	-	-	-	-	80	90
101-250	40	40	40	50	50	50	60	60	60	70	70	80	-	90	100
251-500	40	40	50	50	60	60	70	70	70	80	80	100	-	100	125
501-1000	-	60	60	70	70	80	80	80	100	100	120	120	-	150	175
1001-2000	-	70	80	80	100	100	100	100	120	120	120	140	-	175	200
2001-3000	-	80	80	80	100	100	100	120	120	140	140	160	-	200	250
3001-4000	-	80	100	100	120	120	120	140	140	160	160	180	-	225	275
4001-5000	-	-	100	125	125	125	150	150	150	170	175	200	-	250	300

## 2.29.ОФОРМЛЕНИЕ И ПОРЯДОК РАЗРАБОТКИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА

Для создания проекта литейной оснастки необходимы следующие документы: чертеж отливки, чертеж собранной формы, перечень основной, вспомогательной и контрольно-измерительной оснастки. Все эти документы разрабатываются на основе чертежа модельно-литейных указаний, где даны только принципиальные решения технологических вопросов производства отливки. Подробнее эти вопросы прорабатываются, уточняются и корректируются при разработке чертежа собранной формы.

*Чертеж модельно-литейных указаний.* Для создания чертежа модельно-литейных указаний может быть использован рабочий чертеж детали, на котором цветными карандашами наносят следующее:

1. Размеры модели, формы, положение отливки в форме при заливке; показывают верх и низ формы, линии разъемов формы и модели. Для сложных отливок линии разъемов показывают на нескольких проекциях. При неразъемных моделях обозначают только разъем формы. При нескольких разъемах необходимо указывать каждый разъем отдельно. Если положение формы при формовке не совпадает с ее положением при заливке, на чертеже дополнительно указывают положение отливки при заливке. В некоторых случаях для лучшего заполнения используют кантовку формы. Тогда на чертеже модельно-литейных указаний показывают ось вращения формы и угол поворота.

2. Указывают припуски на механическую обработку; выполняемые после отливки механической обработкой отверстия и углубления зачеркивают, обозначают поверхности отливки, на которые даются гарантийные припуски и устанавливаются величины этих припусков.

3. Обозначают стержни, нумеруя их в порядке сборки; показывают форму и размеры знаков, зазоров между знаковой частью формы и знаком, границы стержней, места их стыковки, склейки или спайки; плоскости набивки стержней и плоскости, которые необходимо зачищать. Если на чертеже

детали из-за недостатка места нельзя показать знаки стержней в масштабе, то можно сделать разрыв знака или изобразить его, не учитывая масштаб. Также показывают каналы для сбора газов из стержней и места их вывода.

4. Изображают элементы литниково-питающей системы, их форму и размеры. Если на чертеже недостаточно места, можно только показать места сопряжений питателей с телом отливки, а литниковую систему представить отдельным чертежом.

На чертеже должны быть изображены холодильники с указанием их размеров, а также места установки жеребеек. Необходимо также указать места расположения прилитых образцов (проб) для испытания на прочность, металлографических, спектральных и других исследований.

В случае необходимости на чертеже указывают усадочные ребра и стяжки со всеми размерами.

5. На чертеже модельно-литейных указаний необходимо отразить специфические требования к форме, например, нагрев, с указанием температуры отдельных элементов формы, необходимость вакуумного или эжекционного отсоса газов формы, образующихся при заливке, наличие вентиляционных пробок или других средств для удаления газов из металлической формы.

6. Устанавливают величину литейной усадки, которую необходимо учитывать при разработке чертежа собранной формы и при изготовлении оснастки для данной отливки. Величина усадки зависит не только от свойств данного сплава, но и от конфигурации самой отливки и от температуры формы (например, кокиля), в которой получается отливка. Например, при литье в песчаные формы блоков цилиндра и картеров автомобильных двигателей из алюминиевого сплава, имеющего усадку 1 %, усадка по длине отливки 0,8 %.

7. На чертеже модельно-литейных указаний в случае необходимости указывают величину слоя краски на определенных участках формы и способ ее нанесения.

Таким образом, при разработке чертежа модельно-литейных указаний решают все основные технологические вопросы производства отливок.



**Чертеж отливки.** На основании чертежа литой детали и чертежа модельно-литейных указаний, выполняется чертеж отливки. Чертеж отливки должен содержать технические требования и все данные, необходимые для разработки чертежа собранной формы, контроля и приемки отливки.

Чертеж отливки имеет в отличие от чертежа литой детали следующее:

1. Обозначение исходных базовых поверхностей для разметки и механической обработки, которые должны быть согласованы с технологической службой литейного цеха и службой механической обработки.

2. Припуски на механическую обработку всех обрабатываемых поверхностей детали, а также всех невыполняемых в отливке отверстий, выточек, обнизок и т.п.

3. Изображение остатков питателей и прибылей, их величины и способы удаления (пила, огневая резка и т.п.).

4. Обозначение формовочных уклонов на всех поверхностях отливки.

5. Обозначение технологических отступлений от чертежа детали (усадочные ребра, стяжки, гарантийные припуски на радиусы и бобышки и т.д.) со всеми необходимыми размерами и пояснениями. То же относится и к технологическим приливам для крепления отливки при механической обработке на станках.

6. Подробное изображение изготавливаемых совместно с отливкой образцов для всех видов испытаний.

7. Указание мест нанесения клейм и маркировки, а также способа их нанесения и размеров надписи.

8. Все необходимые технические требования к отливке.

При разработке чертежа собранной формы и проектировании комплекта оснастки для изготовления данной формы может возникнуть необходимость корректировки чертежа отливки. Данные изменения должны согласовываться с разработчиками литой детали.

**Чертеж собранной формы.** Чертеж собранной формы является основным техническим документом, определяющим общую конструкцию формы и параметры технологических элементов. По чертежу собранной формы и чертежу отливки в модельном цехе изготавливается деревянная оснастка. Для изготовления металлической оснастки, а также многоразовых металлических форм необходима дальнейшая конструкторская работа.

В зависимости от способа литья и сложности отливаемой детали чертеж собранной формы содержит различный объем информации.

Более полную информацию содержат чертежи собранной одноразовой формы, а именно:

- габаритные размеры формы с размерами опок в «свету» и по высоте, размеры сетки ребер;

- число и расположение отливок в форме относительно оси круглого фиксирующего штыря для опочной формовки и относительно оси формы для безопочной формовки, оболочковой или стержневой формы;

- разъем формы и разъемы всех стержней со всеми необходимыми размерами (номера стержням присваивают в порядке их простановки в форму);

- конструкции и размеры знаков всех стержней, базовые поверхности стержней, по которым проверяется их установка в форму, зазоры между отдельными соприкасающимися стержнями, зазоры между знаками стержней и формой;

- обозначения всех плоскостей зачистки, склейки или спайки стержней с указанием величины припуска на зачистку, толщины слоя клея и материала спайки;

- конструкция и компоновка всех элементов формы, предотвращающих заливы, перекосы или всплывание стержней;

- вентиляционная система формы;

- конструкция и параметры литниково-питающей системы;

- холодильники, каркасы и жеребейки (при необходимости выполняют схему простановки холодильников);

- размеры установленных припусков на механическую обработку, специальные гарантированные припуски на ответственных узлах отливки;

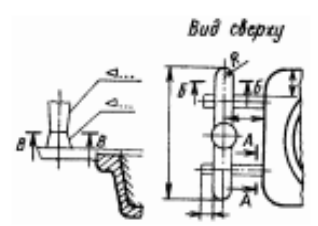
- марка сплава данной отливки, величина литейной усадки, температура заливаемого сплава, марка рекомендуемого формовочного оборудования для изготовления форм и стержней.

В табл. 57 приведены примеры выполнения условных обозначений на чертеже модельно-литейных указаний (размеченный чертеж).

Таблица 57

Условные графические обозначения элементов литейной технологии	
Правило выполнения условных обозначений	Графическое изображение
1	2
Обозначения разъемов и положения моделей, формы	
<p>Прямую плоскость разъема модели и формы изображают на чертеже прямым отрезком основной линии, над которым проставляют буквенное обозначение разъема – МФ. Направление разъема изображают сплошной основной линией, ограниченной стрелками и перпендикулярной линии разъема</p>	
<p>Ломаную плоскость разъема модели и формы изображают на чертеже ломаным отрезком основной линии, над которым проставляют буквенное обозначение разъема – МФ. Направление разъема изображают так же, как и при прямом разъеме</p>	
<p>То же, что и в п. 1, 2, но при использовании неразъемной модели указывают только буквенное обозначение прямого (или ломаного) разъема – Ф</p>	
<p>То же, что в п. 1, 2, но при нескольких разъемах модели и формы каждый разъем прямой (или ломаный) изображают отдельно</p>	
<p>Положение отливки в форме обозначают буквами В (верх), Н (низ). Буквы проставляют у стрелок, указывающих направление разъема модели и формы</p>	
<p>Если литейная форма формируется в горизонтальном положении, а заливается в вертикальном, то буквенные обозначения верха и низа у стрелок разъема модели и формы не ставят. Параллельно направлению заливки проводят отрезок основной линии, у стрелок которой проставляют обозначение верха (В) и низа (Н)</p>	

Изображение припусков

Изображение и обозначение холодильников	
<p>Поверхность соприкосновения отъемной части с моделью изображают сплошной основной линией. Отъемную часть обозначают буквами <i>ОЧМ</i> с указанием порядкового номера – <i>ОЧМ1</i>, <i>ОЧМ2</i> и т.д. Если отъемная часть одна, то порядковый номер в обозначении не проставляют</p>	
<p>Холодильник изображают в масштабе чертежа сплошной тонкой линией с указанием размеров. На полке линии-выноски размещают обозначение, состоящее из слова «Хол.», порядкового номера и числа устанавливаемых в форму холодильников. Если холодильник стандартизован, то его размеры на чертеже не проставляют, а за словом «Хол.» указывают условное обозначение</p>	
Изображение ребер, приливов, стяжек и проб	
<p>Стяжку 1, технологический прилив 2, усадочное ребро 3 и пробку 4 изображают в масштабе чертежа сплошной тонкой линией с указанием размеров. На полке линии-выноски указывают назначение проб (проба 4 для механических испытаний) или условное обозначение стандартизованных проб</p>	
Обозначение мест вывода газов	
<p>Направление вывода газов из формы и стержня изображают стрелкой, вдоль которой проставляют буквенное обозначение ВГ (вывод газов)</p>	
Изображения и обозначения литниковой системы	
<p>Литниковую систему изображают в масштабе чертежа тонкой сплошной линией с указанием размеров ее расположения относительно отливки. Если расположение проекций не позволяет изображать литниковую систему в масштабе, то ее вычерчивают не в масштабе чертежа. На чертеже для монтажа моделей на модельной плите литниковую систему не изображают, а только указывают места сопряжения питателей с отливкой. На полке линии-выноски размещают надпись «Литниковую систему выполнить по чертежу...»</p>	
<p>Сечения элементов литниковой системы изображают на поле чертежа в одном масштабе (предпочтительно 1:1) с указанием их размеров, количества и площади сечений. Площади сечений и соответственно суммарные площади сечений элементов обозначают так: питателей <math>F_n</math>, <math>\Sigma F_n</math>; шлакоуловителей <math>F_{шл.}</math>, <math>\Sigma F_{шл.}</math>; стояков <math>F_{ст.}</math>, <math>\Sigma F_{ст.}</math></p>	 <p> <math>F_n = \dots \text{см}^2</math>    <math>F_{шл.} = \dots \text{см}^2</math>    <math>F_{ст.} = \dots \text{см}^2</math>              Кол. = ... шт.    Кол. = ... шт.    Кол. = ... шт.  <math>\Sigma F_n = \dots \text{см}^2</math>    <math>\Sigma F_{шл.} = \dots \text{см}^2</math>    <math>\Sigma F_{ст.} = \dots \text{см}^2</math> </p>
<p>Литниковую систему, выполняемую в керамике, на чертеже не изображают, но указывают места сопряжения питателей с отливкой. На полке линии-выноски размещают надпись «Литниковую систему выполнить в керамических трубках, ГОСТ...»</p>	

## 2.30.ОСОБЕННОСТИ ПОЛУЧЕНИЯ ОТЛИВОК ИЗ РАЗНЫХ СПЛАВОВ В ПЕСЧАНО-ГЛИНИСТЫХ ФОРМАХ

*Особенности технологии отливок из стали.* При разработке технологии литейной формы необходимо предусматривать припуски на механическую обработку стальных отливок. Они принимаются большими по сравнению с отливками из чугуна и цветных сплавов из-за большой усадки стали и пригара формовочной смеси к отливкам. Вследствие высокой температуры стали формы должны изготавливаться из более огнеупорных формовочных и стержневых материалов. Кроме того, следует учитывать, что при соприкосновении жидкой стали с формовочной смесью окислы железа и марганца, соединяясь с кварцевым песком, ошлаковывают поверхность формы.

Сырые формы для отливок с чистой поверхностью изготавливают из бентонитовых формовочных смесей. Бентонитовая смесь по сравнению с жидкостекольной обладает хорошей пластичностью, лучшей формуемостью и огнеупорностью, но требует значительного уплотнения и хорошей вентиляции формы.

Формы для стальных отливок, в отличие от форм для чугуна и цветного литья, должны иметь большую плотность формовочной смеси для предохранения поверхности формы от размыва струей жидкой стали. Особенно сильно размываются литниковая воронка и литниковые каналы. Для выноса из формы смытых частиц формовочной смеси применяют открытые прибыли, увеличивают припуск на механическую обработку в верхней части отливки, а крупногабаритные формы при заливке металлом располагают с наклоном.

Переувлажнение формовочной смеси и содержание в ней значительного количества газотворных веществ способствуют образованию газовых раковин на поверхности отливки. Заниженная же влажность формовочной смеси (ниже 3,5 %) препятствует хорошему уплотнению формы.

Чтобы устранить трещины в отливках, возникающие вследствие неравномерной усадки, формы изготавливают из податливых формовочных и стержневых смесей, не препятствующих нормальной усадке. Для увеличения податливости в формовочную смесь рекомендуется вводить 15-30 % древесной или торфяной муки, которая во время сушки выгорает и образует пустоты, облегчающие усадку.

Чтобы предупредить образование усадочной пористости, в подприбыльной части отливки ставят наружные или внутренние холодильники и применяют «утепленные» прибыли, при этом вводят термитную смесь в места формы, выполняющие прибыли.

Холодильники ускоряют процесс охлаждения утолщенных мест отливок и уменьшают напряжения, усадочные раковины и предотвращают возникновение горячих трещин в утолщенных местах отливки. Холодильники бывают внутренние и наружные. Они могут быть изготовлены из прутков проката и могут быть литыми.

Наружные холодильники устанавливают в той части стержня или формы, где необходимо ускорить отвод тепла из отливки при охлаждении ее в форме. Внутренние холодильники устанавливают внутри формы в местах скопления металла. Поверхность внутреннего холодильника должна быть чистой и свободной от ржавчины и окислов. Внутренние холодильники должны свариваться с металлом отливки. Для отливок из чугуна или цветных металлов применяют холодильники из чугуна или мягкой стали.

Наружные холодильники от приваривания их к отливке покрывают различными красками. Рекомендуется холодильники окрашивать суриком и формовочной краской. Холодильники перед установкой в форму (рис.123) должны быть тщательно очищены от грязи, масла и окалины. В тех случаях, когда используют внутренние холодильники, о которых заранее известно, что они не расплавляются, применяют стальной пруток, который при механической обработке высверливают из отливки.

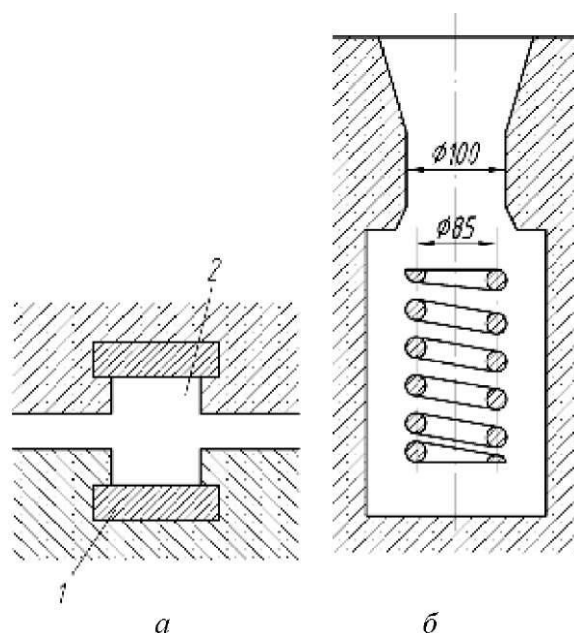


Рис. 123. Схемы установки холодильников в форме: *а* - внешних; *б* - внутренних; 1 - холодильник; 2 - форма

**Особенности литниковой системы.** При выборе и расчете литниковой системы для отливок из стали необходимо соблюдать три обязательных условия: конструкция литниковой системы должна обеспечить заполнение жидким металлом всех прибылей отливки; выбирать такую температуру заливки, которая не давала бы отливке застывать в отдельных местах до окончания заливки формы; правильно установить оптимальную скорость заливки, которая не вызывала бы образования плен, ужимин и трещин.

Наиболее широко применяют в стальном литье сифонный или ступенчатый подвод металла, обеспечивающий спокойное заполнение формы. На литниковую систему с прибылями расходуется 25-50 % от общей массы жидкого металла. Поэтому увеличение выхода годного литья можно достигнуть за счет уменьшения расхода металла на прибыли.

На рис. 124 приведены схемы литниковых систем для стальных отливок. Верхний подвод металла (рис. 124, *а*) применяется для широких отливок с небольшой высотой, заливка с наклоном формы (рис. 124, *б*) для отливок типа плит.

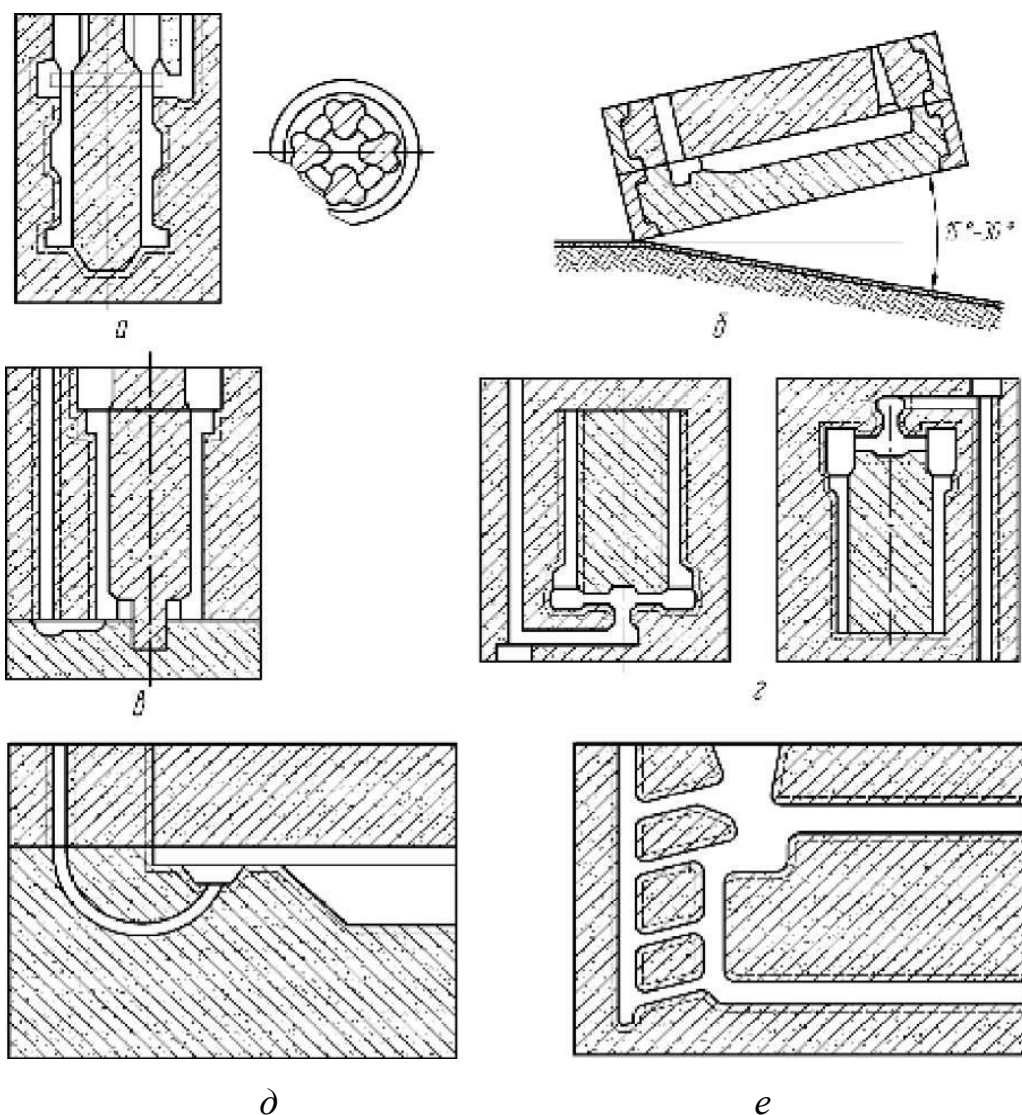


Рис. 124. Типовые конструкции литниковых систем для стальных отливок

Сифонный подвод металла (рис. 124, в) имеет недостаток: в прибыль поступает более холодный металл. Однако возможна заливка с кантовкой (рис. 124, г): после заливки формы наиболее горячий металл будет находиться в прибыли и обеспечит питание отливки. Иногда для плавного заполнения формы делают нижний подвод металла с помощью рожковой литниковой системы (рис. 124, д).

Для крупных отливок применяют многоступенчатую литниковую систему (рис. 124, е); в этом случае в прибыль поступает горячий металл.



При подводе металла в форму необходимо соблюдать следующие правила:

- металл следует подводить в полость формы наиболее короткими путями, чтобы предохранить форму от размыва и сократить расход металла на литниковую систему;

- не делать литники вблизи выступающих частей формы и знаков стержней, не допускать удара струи металла о вертикальную стенку формы и направлять поток металла по продольной оси стенки отливки;

- не рекомендуется размещать питатели около холодильников, так как они сильно разогреваются жидким металлом, и не будут выполнять своего назначения;

- подводить металл в тонкие части отливки следует несколькими питателями, чтобы предохранить от перегрева отдельные места отливки.

Литниковая система должна обеспечивать четкую направленность затвердевания отливок: прибыли должны заполняться горячим металлом.

Прибыли должны устанавливаться на самые массивные части и не препятствовать свободной усадке отливки; кроме того, должно быть обеспечено легкое их отделение и несложная механическая обработка мест установки прибылей. В поточно-массовом производстве наиболее распространены прямые открытые прибыли, которые, помимо своего основного назначения - питания отливки, служат как бы резервуаром для всплывания неметаллических включений (засоров). Их преимущество заключается в удобстве сборки форм и возможности наблюдения за состоянием формы перед заливкой и в процессе заливки. Недостатком открытых прибылей (рис. 125, *а*) является зависимость высоты прибылей от высоты имеющихся в цехе опок и возможность засора формы через открытые прибыли, а также увеличенный расход металла на прибыли. Закрытые прямые прибыли (рис. 125, *б*) следует использовать для высоких опок, где

применение открытых прибылей привело бы к чрезмерно большому расходу металла на прибыль.

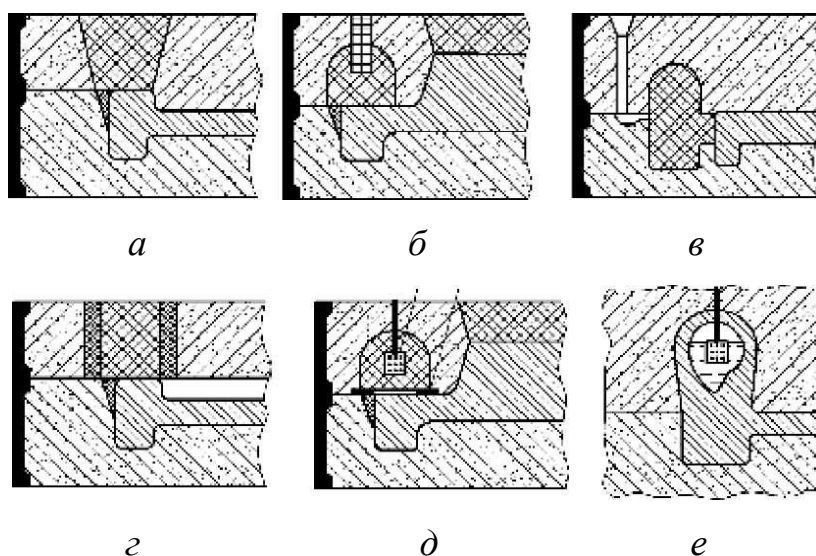


Рис. 125. Схемы установки прибылей на стальных отливках

Отводные прибыли (рис. 125, *в*) устанавливают там, где необходимо питать узел отливки, находящийся в нижней половине формы, в тех случаях, когда нельзя поставить прямую прибыль, не изменяя конфигурации отливки. На практике очень часто применяют прибыли сферической формы. Это уменьшает расход металла на прибыли и увеличивает выход годного литья. Преимущество сфероидальных прибылей - высота их не связана с высотой опок.

Для улучшения работы прибылей важно, чтобы металл в прибыли оставался более длительное время в жидком состоянии (прибыль должна застывать позже отливки). С этой целью применяют специальные стаканы (рис. 125, *г*) из экзотермических смесей, состоящих в основном из термита. При заливке формы эта смесь разлагается с выделением большого количества тепла, которое и обогревает прибыль. Однако для крупных прибылей такие стаканы применять нецелесообразно, так как они сгорают раньше, чем прибыль закончит свое действие, и эффект их применения будет небольшим.

Чтобы обеспечить работу закрытой прибыли под атмосферным давлением, в форму устанавливают песчаный стерженек (рис. 125,б), вокруг которого металл не затвердевает, так как стерженек быстро прогревается до температуры одного порядка с температурой металла. По этому стерженьку воздух из атмосферы протекает в прибыль, которая и работает под атмосферным давлением.

Для улучшения работы прибылей и уменьшения расхода металла применяют прибыли, работающие под избыточным давлением. Это давление создается специальным патроном (рис. 125, б), вставляемым внутрь формы. Патрон состоит из металлического корпуса и мелового заряда. После заливки формы жидким металлом стенки корпуса патрона расплавляются к моменту, когда на стенках формы уже образовалась достаточно прочная корочка твердого металла (рис. 125, е). Мел при нагревании разлагается, образуя газ, который и создает внутри прибыли избыточное давление. Давление улучшает условия заполнения усадочных пустот жидким металлом.

Для отделения прибылей от отливки применяют специальные тонкие керамические пластинки, которые, быстро прогреваясь, не охлаждают перешеек между отливкой и прибылью и не препятствуют перетеканию металла из прибыли в отливку, но создают своеобразный надрез, позволяющий легко отделять прибыль от отливки.

***Особенности технологии формовки из ковкого чугуна.*** Литейные формы для отливок из ковкого чугуна изготовляют главным образом машинной формовкой, и только небольшое количество (для опытных образцов и ремонтных деталей) вручную. В связи с тем, что температура заливки ковкого чугуна (1390-1430 °С) выше по сравнению с серым чугуном, формовочные и стержневые смеси должны обладать большей огнеупорностью, газопроницаемостью и податливостью. Поэтому облицовочные и наполнительные смеси должны содержать большее количество свежих материалов. В наполни-

тельную смесь следует добавлять 10-12 % свежих материалов для сохранения ее физико-механических свойств.

Формы для мелких отливок можно изготавливать из одной наполнительной смеси, а для более крупных отливок, помимо наполнительной смеси, применяется также облицовочная смесь. Чтобы устранить усадочные раковины и рыхлоты, жидкий металл подводят к толстым местам отливки, где устанавливают питающие бобышки, застывающие после затвердевания отливки. Для ускорения процесса охлаждения толстой части отливки применяют холодильники, способствующие также уменьшению вероятности возникновения трещин.

При расчете литниковой системы для отливок из ковкого чугуна скорость заливки принимается меньшей, чем для серого чугуна, вследствие меньшей жидкотекучести белого чугуна и увеличенного сечения питателей.

Поэтому при расчете литниковой системы для ковкого чугуна коэффициенты  $s$  и  $x$ , входящие в формулу, изменяются. Для ковкого чугуна принимается соотношение  $F_{штг} : F_{шл} : F_{ст} = 1,0 : 1,0 : 1,5$ , иное чем для отливок из серого чугуна, т.е. литниковая система является незаполненной и не может служить шлакоуловителем. Шлак при заливке металла в форму задерживается фильтровальными сетками, установкой дроссельной литниковой системы и другими способами.

На возникновение напряжений и горячих трещин в отливках влияет температура заливки металла и охлаждение отливки в форме. Отливки, имеющие резкие переходы от тонкой части к толстой, должны охлаждаться в форме до более низких температур. Поэтому для них следует удлинять конвейеры или дополнительно охлаждать формы на рольгангах, или помещать горячие отливки в специальные колодцы, в которых они будут медленно охлаждаться.

**Технология изготовления отливок из белых чугунов.** Белые чугуны имеют большую склонность к образованию усадочных раковин, и поэтому

при отливке из этих сплавов следует устанавливать прибыли так, как при отливке из стали. Применяются верхние и боковые прибыли. По возможности металл следует заливать через прибыли, что гарантирует направленное его затвердевание. Учитывая трудность любой обработки белых чугунов, прибыли должны быть легкоотделяемыми, путем «пережима». Для этого тонкий стержень помещают между прибылью и отливкой (рис. 126).

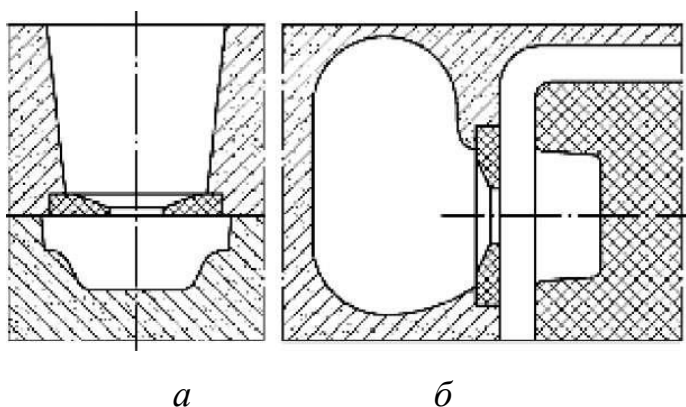


Рис. 126. Легкоотделяемые прибыли: *а* - верхняя; *б* - боковая

Разделительные стержни изготавливают из стержневой жидкостекольной смеси. Для массивных прибылей применяют разделительные стержни, изготовленные из шамотоглинистых, хромомagneзитоглинистых смесей. Установка нескольких прибылей вместо одной большой позволяет выровнять скорость охлаждения различных частей отливки, что способствует уменьшению термических напряжений.

Литниковая система отливок из белых чугунов, особенно типа нихард, учитывая их меньшую жидкотекучесть, должна иметь большую (на 20-40 %) площадь сечения, чем у отливок из серого чугуна. Питатели, как и прибыли, должны иметь пережимы в месте их соединения с отливкой, чтобы они легко отбивались. Желательно подводить питатель непосредственно в прибыль.

В работах [2, 3, 13] отмечается, что для получения минимальных термических напряжений необходимо подводить питатели в тонкие части отливки и рассредоточивать подвод металла.

Во избежание затрудненной усадки литниковая система не должна образовывать жесткой связи с отливкой. Этого можно достичь, заливая металл через два стояка.

Технология формы. Поскольку белые чугуны склонны к образованию трещин, то нужно применять технологию, обеспечивающую получение отливок с минимально возможными напряжениями. Снизить напряжения можно путем уменьшения скорости охлаждения отливки в форме, выравнивания температуры различных частей отливки, уменьшения механического торможения усадки.

Применение песчаных форм вместо металлических позволяет получить более медленное и равномерное охлаждение отливки, уменьшает механическое торможение усадки, что обеспечивает получение меньших напряжений. Сухие формы лучше, чем сырые, обеспечивают медленное охлаждение отливки, но в тоже время создают большее механическое сопротивление усадке. Поэтому сухие формы способствуют устранению холодных трещин и увеличивают (по сравнению с сырыми) опасность появления горячих трещин.

Основной мерой для борьбы с горячими трещинами является повышение податливости формовочных смесей и устранение причин, затрудняющих усадку. При производстве отливок из износостойких сплавов рекомендуется для увеличения податливости стержней изготавливать их из смеси, содержащей не менее 20 % опилок и не более 5 % глины. Следует подбирать такие смеси, которые при нагреве быстро теряют свою прочность и оказывают минимальное сопротивление усадке при высоких температурах.

***Особенности литья деталей из высокопрочного чугуна в песчаные формы.*** Основными вопросами, которые приходится решать при литье

деталей в песчаные формы являются: выбор и приготовление исходных формовочных материалов, приготовление формовочных и стержневых смесей, изготовление форм и стержней, заливка форм, остывание отливок в формах и удаление прибылей литников от отливок.

При литье деталей из высокопрочного чугуна применяются те же исходные формовочные материалы, а также формовочные и стержневые смеси, что и при литье из серого чугуна. Процесс изготовления форм и стержней, предназначенных для чугуна с шаровидным графитом, также не отличается от процесса изготовления форм и стержней для отливок из чугуна с пластинчатым графитом.

Исключительно большое значение при производстве отливок из чугуна с шаровидным графитом имеют вопросы разливки металла в формы после обработки чугуна магнием. Дело в том, что при выдержке чугуна после обработки его магнием в жидком состоянии происходит непрерывное испарение магния и чем длительнее выдержка, тем больше теряется магния непроизводительно. При очень длительной выдержке чугуна в ковше остаточное содержание магния, может уменьшиться настолько, что вместо шаровидного графита образуется графит пластинчатой формы, и чугун в этом случае будет иметь низкие механические свойства. Длительная выдержка чугуна после обработки его магнием приводит к понижению температуры чугуна, что связано с понижением жидкотекучести чугуна и с образованием значительного количества усадочных раковин, спаев и других литейных дефектов.

Исходя из этого, необходимо по возможности сокращать время выдержки чугуна в ковше после ввода магния. Точно так же должно быть минимальным время заливки литейной формы, во избежание повышенного окисления металла, что связано с возможностью попадания окисных плен в отливку.

Процесс разливки чугуна зависит от способа обработки чугуна магнием. При обработке чугуна магнием в открытых ковшах разливка чугуна производится из тех же ковшей, в которых производилась обработка его магнием. При обработке чугуна магнием в копильниках вагранок разливка чугуна производится либо мелкими ковшами, наполняемыми из вагранки, либо из ковшей большой емкости, равной емкости копильника. Разливка чугуна после обработки его магнием в герметизированных ковшах или автоклавах может производиться непосредственно из тех же ковшей, в которых производилась обработка чугуна магнием.

При отливке крупных деталей с большими прибылями после заливки форм рекомендуется производить доливку прибылей горячим металлом.

Охлаждение отливок в формах, залитых чугуном, обработанным магнием, должно производиться медленно. Температура по всему сечению отливки выравняется и не будет возникать остаточных литейных напряжений. Преждевременная выбивка отливок может привести к короблению их, а при неблагоприятных условиях даже к полному разрушению.

Обрезку прибылей у крупных отливок, не подвергающихся термической обработке, а также заварку литейных дефектов производят после предварительного отпуска по следующему режиму: загрузка деталей в печь, предварительно нагретую до 350 °С; нагрев до 550 °С со скоростью 50 °С в час; выдержка при этой температуре в течение 8-10 ч, охлаждение до 350 °С со скоростью 50 °С в час с дальнейшим охлаждением на воздухе.

***Особенности литейной формы для алюминиевых сплавов.*** Многие алюминиевые сплавы обладают склонностью к образованию газовой и усадочной пористости в отливках. Поэтому при выборе состава формовочных и стержневых смесей следует обращать особое внимание на их газотворную способность.

Для отливок из алюминиевых сплавов применяют мелкозернистые пески с добавкой глинистых песков вместо глины. При изготовлении отливок в



песчаных формах для увеличения скорости охлаждения сплава и получения отливки с меньшей пористостью в большинстве случаев применяется формовка по сырому.

Поэтому литниковые системы для алюминиевых сплавов должны конструироваться так, чтобы движение расплава при заливке в форму было по возможности плавным, без завихрений. Для этого делают незаполненные ситниковые системы с сечениями элементов, постепенно расширяющимися от стояка к питателю:  $F_{\text{штг}} : F_{\text{шл}} : F_{\text{ст}} = 1 : 2 : 4$ .

Для обеспечения плавного поступления расплава в форму и исключения попадания окислов и шлака в отливку устанавливают металлические фильтровальные сетки. Чаще всего применяют обычный цилиндрический или призматический стояк, а при большой высоте для ослабления ударного действия струи металла делают ступенчатую литниковую систему и зигзагообразные (змеевидные) стояки (рис. 127).

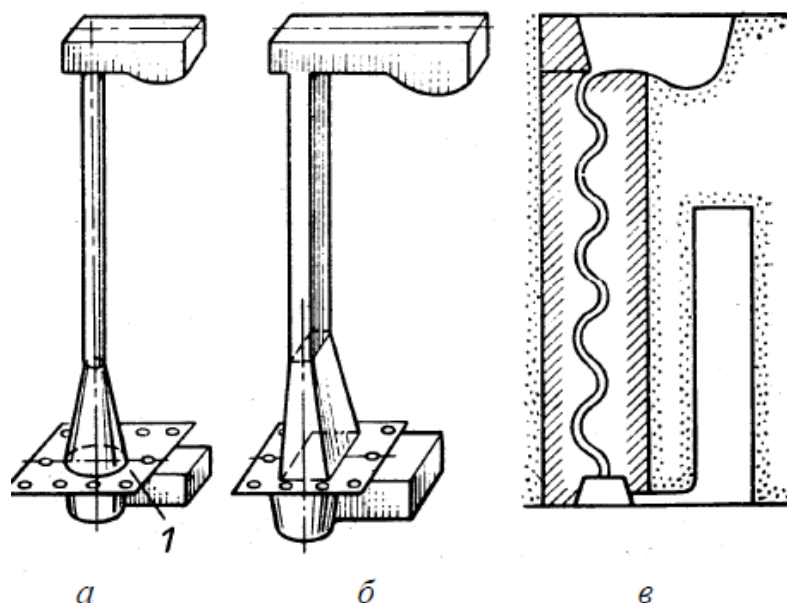


Рис.127. Типы стояков:

*а*- цилиндрический; *б* - призматический; *в*-зигзагообразный; *1*– сетка

### 3 ОСНОВЫ ПОЛУЧЕНИЯ ОТЛИВОК ИЗ СПЛАВОВ НА ОСНОВЕ ЖЕЛЕЗА

### 3.1.ПРОИЗВОДСТВО ОТЛИВОК ИЗ ЧУГУНА

Чугун является наиболее распространенным материалом для изготовления фасонных отливок. В строительной технике (колонны, котлы, ванны, трубы, радиаторы и др.), в металлургической промышленности (изложницы, поддоны, прокатные валки и др.), в транспортном машиностроении (коленчатые валы из высокопрочного чугуна для автомобилей, тракторов и др.).

Современное состояние, перспективы и задачи производства железуглеродистых сплавов. Основные направления в повышении эффективности производства отливок

Фасонные отливки применяются во всех отраслях промышленности, область применения литых деталей постоянно расширяется, т.к. помимо общего роста машиностроения происходит замена отливками деталей из поковок, штамповок и проката, что обуславливает большую экономию металла и снижение затрат труда.

Большую часть (около 95 %) фасонных отливок составляют отливки из чугуна и стали и меньшую - отливки из других сплавов, преимущественно из медных, алюминиевых, магниевых и титановых сплавов.

Широкое распространение отливок из чугуна и стали объясняется тем, что эти материалы обладают многими ценными качествами, в частности высокими (у чугуна) и удовлетворительными (у стали) литейными свойствами, легко обрабатываются резанием. Важным обстоятельством является также сравнительно невысокая стоимость чугуна и стали.

Современное машиностроение значительно повысило требования, предъявляемые к чугунным отливкам. Применение чугуна для ответственных деталей потребовало улучшения качества чугуна, главным образом его структуры. Для получения легированных и модифицированных чугунов появилась необходимость введения в чугун специальных добавок.

Задача получения качественных отливок из серого чугуна с улучшенной структурой сводится к получению однородного перлитного чугуна во всех частях отливки независимо от толщины стенок.

Такая структура может быть получена регулированием химического состава, температуры выпускаемого из печи чугуна и скорости охлаждения его в форме. Для этого суммарное содержание в отливке углерода и кремния обеспечивают равным 4 %. Чугун перегревают до температуры примерно 1500 °С и замедляют охлаждение его в форме.

Легированными называют чугуны, в состав которых введены специальные примеси: никель, хром, молибден, титан и др. В результате введения этих примесей наблюдается повышение механических свойств чугуна. Влияние легирующих элементов весьма разнообразно и в настоящее время позволяет применять чугун там, где раньше применялась сталь.

Наибольшее значение на практике имеет модифицирование чугуна. Во время выпуска серого чугуна из вагранки или другого плавильного агрегата добавляется небольшое количество (0,5-0,6 %) специальных графитизирующих присадок - модификаторов. Серый излом этих отливок объясняется тем, что структурно модифицированный чугун представляет собой перлит с включениями пластинок графита. Термообработка такого чугуна повышает механические свойства, приближая их к свойствам стали. В качестве модификаторов может служить 75 %-ный ферросилиций, силикокальций (СК10) и др. Введение этих модификаторов может производиться в ковш во время наполнения его чугуном или же на желоб, в струю металла, во время выпуска чугуна из плавильного агрегата. После ввода модификаторов и перемешивания чугуна время выдержки до заливки чугуна в формы должно быть очень небольшим - 2-4 мин. При более длительных выдержках заметного изменения структуры и механических свойств не произойдет.

В результате модифицирования образуется более мелкозернистая металлическая основа чугуна, кроме того, графитовые включения равномернее распределяются в металлической основе в виде тонких и коротких включений. Это обеспечивает значительное повышение механических свойств модифицированных чугунов по сравнению с серыми. Такой чугун применяется для ответственных деталей машиностроения. Из него изготавливаются рамы двигателей, тонкостенные отливки сложных форм (с толщиной стенок до 6 мм), поршневые кольца, цилиндры, малые коленчатые валы, головки блока и т.д. Модифицирование применяется также как способ устранения отбела в тонких сечениях чугунных отливок. В ряде случаев модифицированный чугун применяется в качестве антифрикционного материала - заменителя бронз.

В ближайшее время чугун остается ведущим конструкционным материалом.

Диапазон технических свойств чугуна весьма широк. Серый чугун (СЧ) имеет хорошие антифрикционные свойства, высокопрочные и ковкий чугуны отличаются высокой прочностью и пластичностью.

Чугун по износостойкости, низкой чувствительности к надрезам и технологичности превосходит сталь.

Получение чугуна различных марок потребовало разработки новых и совершенствования традиционных процессов плавки и внепечной обработки чугуна.

Разработаны и внедряются современные коксовые, коксогазовые и газовые вагранки, широкое распространение получают электроплавка и плавка чугуна дуплекс-процессом (вагранка - электропечь).

Чугун это уникальный литейный сплав. Чугун имеет хорошие литейные свойства и дешевле стали.

### 3.2. Структурные составляющие и свойства сплавов в жидком и твердом состояниях.

**Общая характеристика чугунов.** Чугуны представляют собой сплавы железа, содержащие свыше 2,14 % углерода и кремния от 0,4 до 3,5 %; марганца от 0,2 до 1,5 %; фосфора от 0,04 до 1,5 % и серы от 0,02 до 0,2 %.

Структура и свойства чугуна в основном определяются тем, в каком количестве и в каком виде (свободном или связанном) содержится в нем углерод. Свободный углерод в чугуне представляет собой равномерно распределенные в металлической основе сплава включения графита - неметаллического материала, обладающего малой прочностью и твердостью, имеющего в различных чугунах разную форму: пластинчатую, шаровидную, хлопьевидную. Связанный углерод входит в состав чугуна в виде химического соединения  $Fe_3C$  - цементита. Чем больше по количеству и размерам включения графита в чугуне, тем меньше его прочность. Наиболее высокими механическими свойствами обладают высокопрочные чугуны с шаровидной формой графита и ковкие чугуны, в которых благодаря специальной термической обработке обеспечивается выделение углерода отжига в виде хлопьевидных частиц. Высокое от 2 до 4 %, по сравнению со сталями, содержание углерода в чугуне оказывает положительное влияние на литейные свойства чугуна: понижает температуру плавления, повышает жидкотекучесть, уменьшает усадку.

К основным составляющим структуры различных чугунов, определяющим их свойства, помимо графита относят: феррит, цементит, перлит, аустенит, ледебурит. **Феррит** (Ф) - твердый раствор углерода (до 0,02 %) в  $\alpha$ -железе. Феррит мягок и пластичен, если не содержит легирующих примесей, повышающих его твердость, прочность, хрупкость. **Цементит** (Ц) (карбид железа) представляет собой химическое соединение  $Fe_3C$ , содержащее 93,33 % железа и 6,67 % углерода; является наиболее твердой и хрупкой составляющей чугунов.

**Перлит (П)** - эвтектоидная механическая смесь цементита и феррита. Мельчайшие частицы цементита, находящиеся в пластичной массе феррита, придают этой смеси хорошие прочностные свойства. В перлите содержится 0,83 % углерода. **Аустенит (А)** - твердый раствор углерода в  $\gamma$ -железе. Аустенит немагнитен. **Ледебурит (Л)** - эвтектическая механическая смесь аустенита и цементита.

Рассмотрим диаграмму состояния железо - углерод (рис. 128).

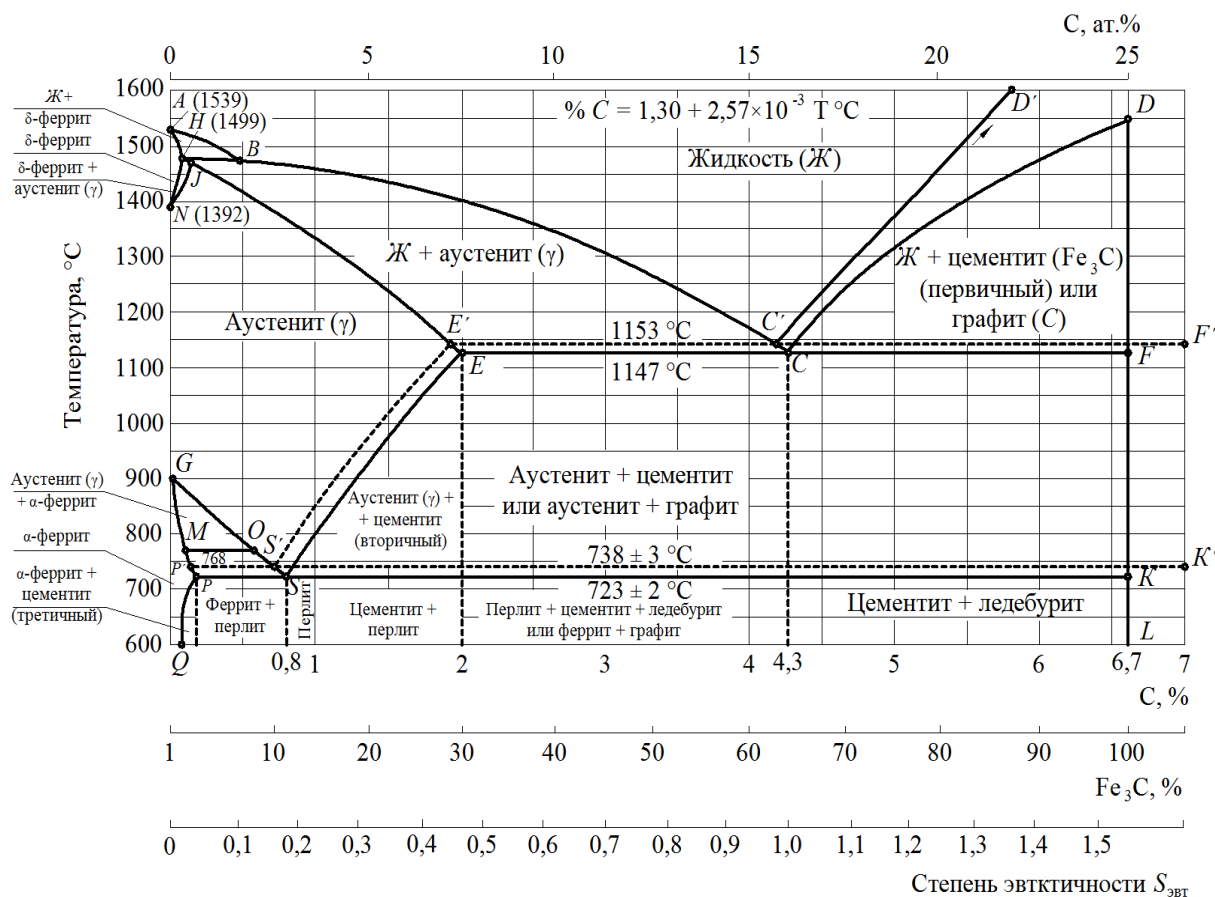


Рис. 128. Диаграмма состояния железо-углерод

При температурах, отвечающих линии  $BC$ , из жидкого сплава кристаллизуется  $A$  (аустенит), а линии  $CD$  - цементит ( $Fe_3C$ ), в точке  $C$  при  $1147^\circ C$  и концентрации углерода 4,3 % из жидкого сплава одновременно кристаллизуются  $A$  и  $Fe_3C$ , образуя эвтектику (ледебурит).

При кристаллизации доэвтектических сплавов (рис. 128), содержащих от 2,0 до 4,3 %  $C$ , из жидкой фазы по достижении температур,

соответствующих линии ликвидус ВС, сначала выделяются кристаллы аустенита, а при 1147 °С (линия ЕС) сплавы окончательно затвердевают с образованием эвтектики - ледебурита.

Следовательно, доэвтектические сплавы после затвердевания имеют структуру  $A + L$  (ледебурит).

Заэвтектические сплавы, содержащие от 4,3 до 6,67 % углерода, начинают затвердевать по достижении температур, отвечающих линии CD. Первоначально из жидкой фазы выделяются кристаллы цементита, а по достижении 1147 °С (линия CF), сплавы окончательно затвердевают с образованием эвтектики - ледебурита. После затвердевания сплавы получают структуру: кристаллы цементита + ледебурит. Этот цементит, образующийся из жидкой фазы, называется **первичным цементитом**.

Чугуны (по сравнению со сталью) обладают лучшими литейными свойствами и более низкой температурой плавления, но они хрупки и практически не поддаются ковке.

**Вторичная кристаллизация.** Рассмотрим превращения, протекающие в твердом состоянии. Эти превращения связаны с переходом при охлаждении  $\gamma$ -Fe в  $\alpha$ -Fe и в связи с этим распадом A (аустенита).

Линия ES показывает изменение растворимости углерода в аустените с 2 % (точка E) до 0,8 % (точка S), при этом из аустенита выделяется цементит, который в отличие от цементита ( $Fe_3C$ ), кристаллизующегося из жидкой фазы, называется **вторичным цементитом**.

По достижении 727 °С происходит распад аустенита с одновременным выделением из него феррита и цементита, образующих эвтектоидную смесь - перлит. Таким образом, **перлит** - это механическая смесь двух фаз: феррит + цементит, точка P характеризует предельную растворимость углерода в феррите ( $Fe\alpha$ ) при температуре 727 °С, она составляет 0,025 % углерода.

По достижении температуры соответствующей линии PSK (727 °С), аустенит обедненный углеродом доэвтектоидного состава (точка S 0,8 % C),

превращается в перлит. Доэвтектические чугуны после окончательного охлаждения имеют структуру: перлит + ледебурит (рис. 129,а).

Эвтектический чугун (4,3 % С) состоит только из ледебурита, выше 727 °С из аустенита + цементита, а ниже 727 °С из перлита + цементита (рис. 129,б).

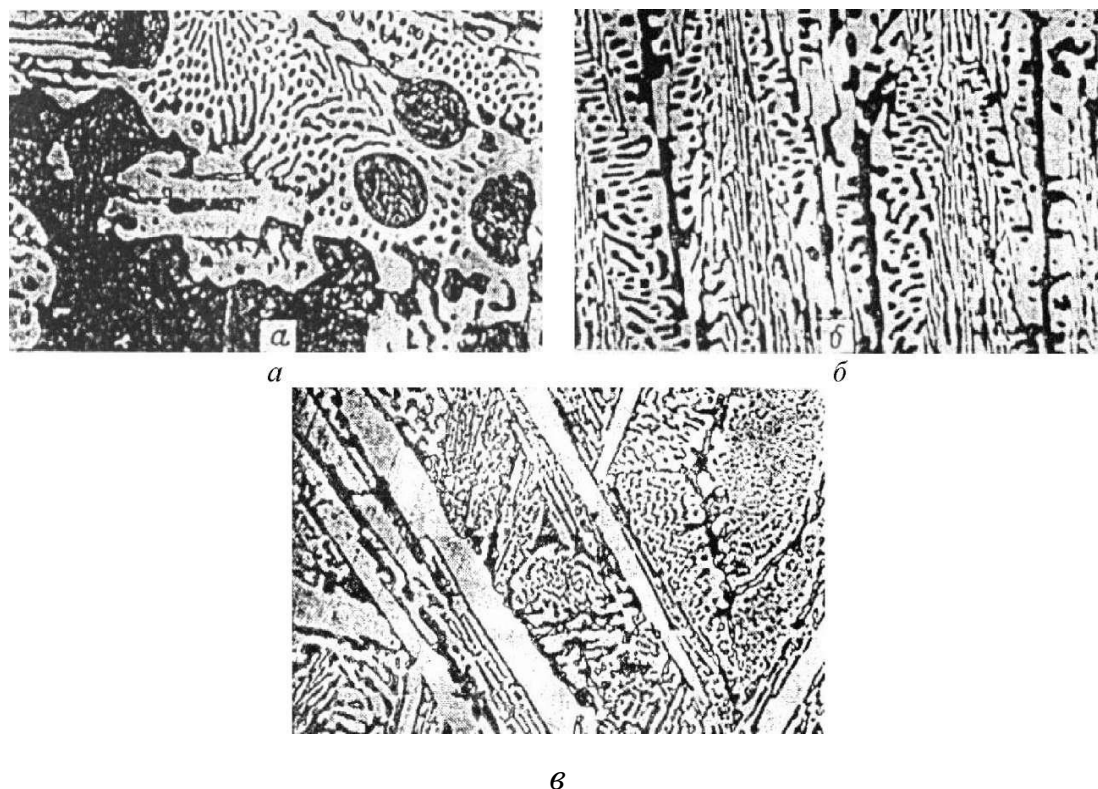


Рис. 129. Микроструктура чугуна: а - доэвтектический чугун - перлит (темные участки) и ледебурит (светлые участки); б - эвтектический чугун - ледебурит (темные участки - перлит, светлые - цементит); в - заэвтектический чугун - цементит (светлые пластины) и ледебурит (темные участки - перлит; светлые - цементит), х500

Ледебурит представляет собой выделения цементита, часто пластинчатой формы (они плохо травятся) и мелкие (иногда разветвленные) включения перлита, образовавшегося в участках залегания аустенита.

Заэвтектический чугун при температурах ниже 727 °С состоит из первичного цементита имеющего форму пластин и ледебурита (П + Ц)(рис. 129,в).



**Процесс графитизации и структура серого чугуна.** В условиях стабильного равновесия сплавов Fe-C высокоуглеродистой фазой является не цементит, а графит.

Образование стабильной фазы - графита в чугуне может иметь место либо за счет непосредственного выделения его из жидкого (твердого) раствора, либо в результате распада предварительно образовавшегося цементита.

В стабильной системе при температурах, соответствующих линии C'D' кристаллизуется первичный графит (Г), а линии E'C'F' (1153 °C) - эвтектический графит.

По линии S'E' - выделяется вторичный графит (Г), а по P'S'K' (738 °C) - эвтектоидный графит.

Следует иметь в виду, что образование графита из жидкой фазы возможно лишь **при очень малой скорости охлаждения** (когда степень переохлаждения не превышает 5 °C/час).

В жидком чугуне присутствуют различные включения, многие из которых (графит, SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> и др.) находятся в структурном и размерном соответствии с кристаллизующимся графитом. Эти частицы играют роль готовой подкладки, облегчая образование и рост графитных зародышей. В этом случае процесс образования графита может протекать и при температурах < 1147 °C.

Для ускорения процесса графитизации из жидкой фазы, в чугун нередко специально вводят модификаторы, образующие добавочные центры кристаллизации.

В плоскости шлифа графит имеет вид прямолинейных или завихренных пластинок. Форма и размеры этих включений сильно зависят от температуры перегрева чугуна (выше температуры плавления) и скорости его последующего охлаждения (степени переохлаждения).

Аустенит, входящий в эвтектику и кристаллизующийся вслед за графитом, отлагается на его поверхности. Если в процессе кристаллизации образу-

ется цементит, то при определенных условиях возможен его распад с образованием аустенита и графита ( $A + \Gamma$ ).

Процесс образования графита из жидкой фазы, а также распад первичного и эвтектического цементита ( $\text{Ц}$ ) на аустенит ( $A$ ) и графит ( $\Gamma$ ) называют **первичной стадией графитизации**.

При последующем медленном охлаждении термодинамически возможно выделение графита из аустенита.

Выделение вторичного графита из аустенита называют **промежуточной стадией графитизации**.

Образование эвтектоидного графита ( $\Gamma$ ), а также распад эвтектоидного цементита на графит, и феррит называют **второй стадией графитизации**.

Основная масса графита ( $\Gamma$ ) в сером чугуна образуется в период первой стадии графитизации.

Графит ( $\Gamma$ ), возникающий при промежуточной и второй стадии графитизации, не образует самостоятельных выделений, а наслаивается на имеющихся графитных включениях, увеличивая их размеры.

Если чугун, в котором углерод находится в виде цементита подвергнуть длительному нагреву при высоких температурах, в нем также протекает процесс графитизации, т.е. распад цементита ( $\text{Ц}$ ) на графит ( $\Gamma$ ) и феррит ( $\Phi$ ) при температурах ниже  $727^\circ\text{C}$  или графит ( $\Gamma$ ) и аустенит ( $A$ ) при более высокой температуре.

В зависимости от количества углерода, связанного в цементит различают следующие виды чугунов [10]:

1. **белый чугун**, в котором весь углерод находится в виде карбида  $\text{Fe}_3\text{C}$ . Структура такого чугуна - ледебурит ( $L$ ) и перлит ( $\text{П}$ ) (рис. 130,а);
2. **половинчатый чугун**, большая часть углерода (более 0,8 %) находится в виде  $\text{Fe}_3\text{C}$ . Структура такого чугуна - ледебурит, перлит и пластинчатый графит (рис. 130, б);

3. **перлитный серый чугун**, структура - перлит (П) и пластинчатый графит (ПГ) (рис. 130, а). В этом чугуне 0,7-0,8 % углерода находятся в виде  $Fe_3C$ , входящего в состав перлита;

4. **феррито-перлитный серый чугун**, структура - перлит, феррит и пластинчатый графит (рис. 130, б). В этом чугуне, в зависимости от степени распада эвтектоидного цементита, в связанном состоянии находится от 0,7 до 0,1 % углерода, входящего в состав перлита (П);

5. **ферритный серый чугун**, структура феррит (Ф) и пластины графита (ПГ) (рис. 130, в). В данном случае весь углерод находится в виде графита.

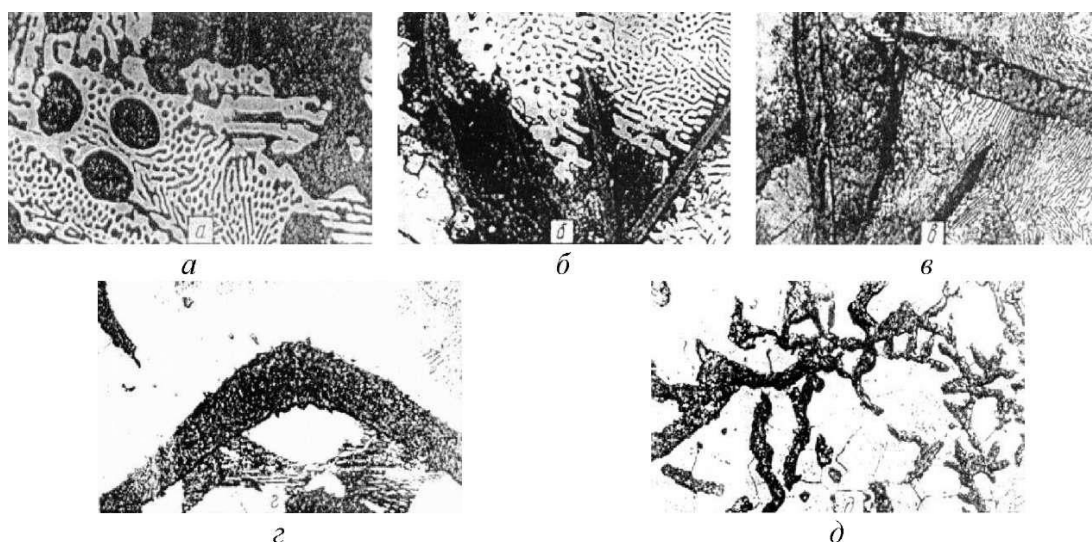


Рис. 130. Структура чугуна, х600

**Влияние состава чугуна на графитизацию.** Химический состав чугуна оказывает на графитизацию большое влияние. Si, C и Al называются **графитообразующими элементами**, т.е. ускоряют первую и вторую стадию графитизации. Ni, Cu - ускоряют первую стадию и задерживают вторую стадию. Mn, Cr, Mo, W, V, Mg задерживают процесс графитизации и способствуют получению белого чугуна, это карбидообразующие элементы. Влияние S и P невелико. Таким образом, процесс графитизации и структура чугуна зависят от двух основных

факторов: состава чугуна, главным образом от содержания С, Si и Mn и скорости охлаждения.

Сравнительная интенсивность влияния элементов на графитизацию (отбеливаемость) выражается следующим рядом:

+ Si, Al, C, Ti, Ni, Cu, P, Zr, Nb, W, Mn, Cr, V, S, Mg, Ce, Te, B -

От ниобия влево возрастает графитизирующая способность, а вправо - карбидообразующая (т.е. способствующая отбелу).

К графитизированным чугунам относятся серый и ковкий чугуны, высокопрочный чугун с шаровидным или вермикулярным графитом.

### **3.3.ХАРАКТЕРИСТИКА СЛУЖЕБНЫХ И ЛИТЕЙНЫХ СВОЙСТВ ЧУГУНА**

Структура серого чугуна состоит из металлической основы и вкрапленных в нее пластинчатых включений графита. Поэтому свойства этих чугунов определяются строением металлической основы и размерами, формой и распределением графитных включений. Графит обладает очень низкими механическими свойствами. Чем больше графитных включений и чем они крупнее, тем меньше прочность чугуна при одной и той же металлической основе.

Графитные включения можно рассматривать как внутренние надрезы, нарушающие целостность металла. Но графит играет и положительную роль:

- улучшает обрабатываемость резанием, делая стружку ломкой;
- повышает износостойкость и антифрикционные свойства чугуна, благодаря оказываемому им «смазывающему» действию;
- гасит вибрацию и резонансные колебания;
- графит, нарушая сплошность металлической основы и как бы надрезая ее, делает чугун малочувствительным к всевозможным концентраторам напряжений (дефектам поверхности, надрезам, выточкам и т.д.);

- чугун имеет лучшие литейные свойства (высокую жидкотекучесть) и вследствие графитизации меньший коэффициент усадки.

Следует отметить также, что графитные включения мало снижают предел прочности при сжатии и твердость, величина которых определяется главным образом металлической основой чугуна.

При сжатии чугун претерпевает значительные деформации, и разрушение имеет характер среза под углом  $45^\circ$ .

Разрушающая нагрузка при сжатии, в зависимости от качества чугуна и его структуры в 3-5 раз больше, чем при растяжении.

Поэтому, чугун рекомендуется использовать для изделий, работающих на сжатие.

Пластинки графита в меньшей мере, чем при растяжении снижают прочность и при изгибе, т.к. часть металла испытывает сжимающие напряжения. Предел прочности при изгибе имеет промежуточное значение между пределом прочности на растяжение и на сжатие.

Известно, что литейные, механические, технологические и специальные свойства чугуна зависят от его химического состава, матрицы, формы, количества и характера распределения графита, скорости охлаждения, природы шихтовых материалов и др. Плотность чугуна составляет  $6,8-7,5 \text{ г/см}^3$ , коррозионная стойкость серых чугунов повышается по мере измельчения графита при однофазной матрице, а также при уменьшении содержания кремния, фосфора, серы. Окалиностойкость увеличивается при уменьшении количества графита и его измельчении.

Металлическая основа в серых чугунах обеспечивает наибольшую прочность и износостойкость, если она имеет перлитную структуру. Присутствие в структуре феррита, не увеличивая пластичности и вязкости чугуна, снижает прочность и износостойкость. Поэтому наименьшей прочностью обладает ферритный серый чугун.

Перлитные серые чугуны применяют для отливки станин, поршней цилиндров (к ним относятся сталистый и модифицированный серый чугун). Сталистые чугуны (при их выплавлении в шихту добавляют 20-30 % стального лома); отличаются пониженным содержанием углерода, что обеспечивает получение перлитной основы с небольшим количеством графитных включений.

Модифицирование чугуна осуществляют добавлением в жидкий чугун перед разливкой специальных добавок - модификаторов (75 %-ный ферросилиций или силикокальций в количестве 0,3-0,8 % от массы металла).

***Чугуны обладают лучшей жидкотекучестью, чем сталь.*** Определяется жидкотекучесть по спиральной или комплексной пробе. Чем больше углерода и графита, тем лучше жидкотекучесть.

Усадка чугуна самая низкая 0,7-1,3 %, она зависит от содержания углерода и графита, чем больше углерода выпадает в виде графита, тем меньше усадка. Усадка определяется по пробе Большакова или комплексной пробе.

Механические свойства прочность и твердость снижаются с увеличением углерода и графита. По сравнению со сталью прочность чугуна ниже.

Для определения прочности серого чугуна используют цилиндрические заготовки диаметром 30 мм и длиной ( $l$ ) = 300 мм. Эти заготовки получают заливкой специальной пробы на механические свойства.

В ГОСТе дополнительно указываются требования к образцам:

-при применении термообработки (ТО) отливок, заготовки для определения механических свойств должны проходить ТО вместе с отливками, т.е. условия ТО должны быть одинаковыми;

-при получении неудовлетворительных результатов испытания, проводят повторные испытания еще на двух образцах.

Определение прочности отливок из высокопрочного чугуна проводят по ГОСТу на одном образце диаметром 14 мм с расчетной длиной 70 мм (рис.

131). Для получения образца применяют отдельно отлитые заготовки, форма и размеры которых приведены на рис. 132.

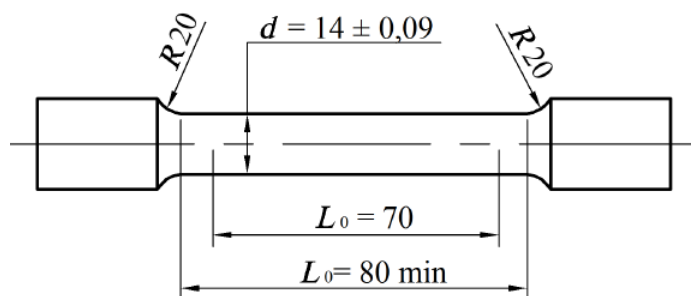


Рис. 131. Образец для определения прочности отливок из высокопрочного чугуна

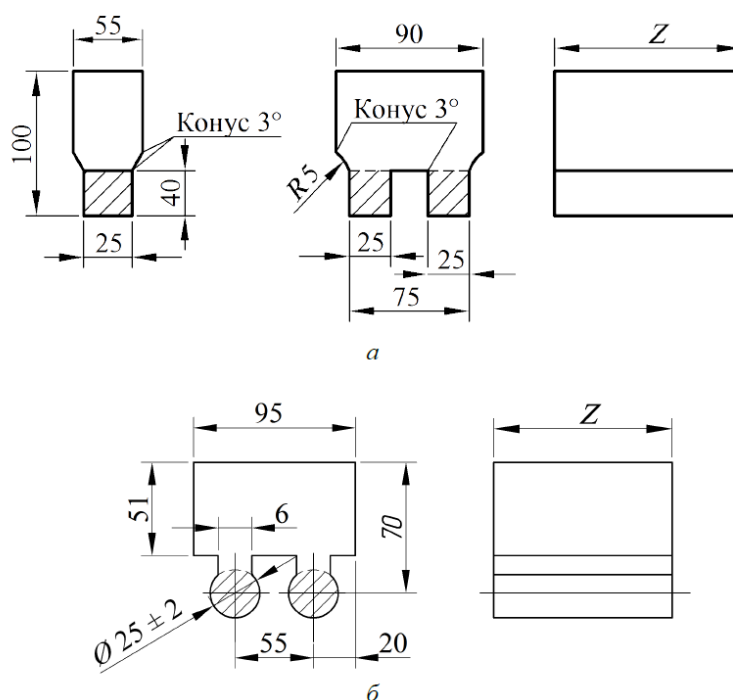


Рис. 132. Форма и размеры литых заготовок для изготовления образцов с различной формой сечения: *а* - прямоугольная, *б* - круглая; *Z* выбирается в зависимости от размера и количества образцов. Заштрихованные участки соответствуют месту вырезки образцов

Измерение твердости вследствие быстроты и простоты испытания, а также возможности без разрушения изделия судить о его свойствах,

получило широкое применение для контроля качества металла. Существуют несколько методов определения твердости, наиболее распространенными из которых являются метод Бринелля и метод Роквелла.

**Определение твердости вдавливанием стального шарика** (метод Бринелля). Основан этот метод на том, что в плоскую поверхность металла вдавливается под постоянной нагрузкой стальной твердый шарик. После снятия нагрузки в металле образуется отпечаток (лунка). Число твердости по Бринеллю (НВ) представляет отношение нагрузки к поверхности полученного отпечатка.

Диаметр шарика ( $D$ ) и нагрузка ( $P$ ) выбираются в зависимости от состава металла, твердости и толщины испытуемого образца.

**Определение твердости по глубине вдавливания алмазного конуса** (метод Роквелла). В этом методе твердость определяется по глубине отпечатка конуса.

Конус вдавливается двумя последовательными нагрузками: предварительной  $P_0 = 10$  кг и основной  $P_1 = 140$  кг (шкала С). Твердость по Роквеллу измеряется в условных единицах, и обозначается: например, 60HRC и может быть пересчитана в НВ по специальным таблицам.

Для определения склонности чугуна к отбелу применяют клиновую пробу или пробу с подкалом. Использование пробы с подкалом дает более точные и стабильные результаты.

### **3.4. Влияние химического состава на свойства чугуна**

**Углерод.** Обычно углерод в чугуне находится в виде: графита, твердых растворов и карбидов. С увеличением содержания углерода, увеличивается количество графита, уменьшается объем усадочных раковин и меньше пористость. Это происходит вследствие того, что понижение температуры вызывает уменьшение объема на 1,1-1,8 % на каждые 100 °С, графитизация чугуна наоборот дает увеличение объема на 2,2 % на 1 % выделившегося



графита (т.е. часть возможной усадки компенсирует объем графита). В связи с этим, усадка для серых чугунов низких марок (СЧ10, СЧ15) составляет 0,7-1,0 %; для СЧ30 и СЧ35 - выше 1,0-1,3 %.

**Кремний** действует также как углерод, но менее значим. С увеличением содержания кремния укрупняется графит, уменьшается склонность к отбелу.

С увеличением кремния матрица чугуна из перлитной превращается в ферритную. С увеличением содержания кремния графит в структуре укрупняется (т.е. выделяется в более грубой форме).

Кремний повышает износостойкость и окалинустойкость чугуна.

Т.к. углерод и кремний во многом действуют в одном направлении, их воздействие следует учитывать одновременно.

**Марганец** способствует образованию перлитной матрицы, он стабилизирует перлит и увеличивает его дисперсность. Марганец увеличивает растворимость углерода в чугуне и тормозит графитизацию. При содержании больше 1,5 % марганца, увеличивается склонность к отбелу.

Установлено что с повышением содержания марганца на 1 %, увеличивается  $\sigma_B$  на 10 %, а твердость увеличивается на 15 единиц. При этом обрабатываемость отливок резко ухудшается и повышается склонность к образованию трещин.

Марганец в чугун вводится для двух целей:

- устранения вредного влияния серы (образует сульфид  $MnS$ );
- как легирующий элемент для улучшения свойств чугуна.

Сульфид марганца ( $MnS$ ) имеет высокую температуру плавления - 1620 °С и обычно присутствует в сплаве в виде обособленных включений. Сульфид железа ( $FeS$ ) относительно легкоплавков - 1193 °С и при избытке серы образует при температуре 985 °С легкоплавкую эвтектику  $Fe-FeS$ , которая располагается по границам зерен, затвердевая позже, чем основная масса металла. В результате в отливках появляется краснотокость и трещины. Понятно, что  $MnS$  является гораздо менее вредным соединением, чем  $FeS$  или эвтекти-

ка Fe-FeS, и поэтому на практике в чугунах и сталях стремятся иметь достаточное количество марганца для связывания всей серы и не допустить образования сульфида железа.

**Хром** является сильнейшим карбидообразующим элементом. При этом резко повышается твердость и прочность чугуна. Твердость, при увеличении хрома на 1 % возрастает на 100 ед. Повышается износостойкость и жаропрочность.

Хром, увеличивая растворимость углерода в жидком чугуне, резко повышает склонность чугуна к отбелу. В обычных чугунах хрома содержится до 0,3 %.

**Сера** является примесным элементом, но оказывает сильное влияние на свойства чугуна и структурообразование. Сера тормозит графитизацию, являясь отбеливающим элементом, снижает жидкотекучесть и твердость.

В чугуне сера (при отсутствии марганца) находится в виде FeS, т.е. в связанном состоянии - это плохо, т.к. Fe, Fe<sub>3</sub>C и FeS образуют тройную эвтектику, ослабляющую связи между зернами матрицы, что охрупчивает структуру чугуна.

Сера влияет на форму и размеры графита. С увеличением содержания серы пластинчатый графит утончается и удлиняется. Сера препятствует образованию шаровидного графита (она выступает в роли демодификатора, т.е. размодифицирует структуру).

Установлено, что при содержании серы больше 0,04 % получить графит в шаровидной форме нельзя.

При введении марганца в чугун, содержание серы в чугуне не уменьшается, а изменяется форма состояния серы в чугуне и распределение сульфидов. Сера равномерно распределяется по всему объему.

**Фосфор** в чугуне находится в виде фосфидной эвтектики Fe-Fe<sub>3</sub>C-Fe<sub>3</sub>P с температурой плавления 950 °С), которая обладая низкой температурой

плавления, располагаясь по границам эвтектических зерен, ослабляет тем самым силы связи между зернами.

Фосфор повышает жидкотекучесть, понижает вязкость чугуна, улучшает смачиваемость стенок формы. Но с увеличением содержания фосфора возрастает склонность к образованию трещин (из-за образования фосфидной эвтектики).

Прочность при растяжении возрастает при увеличении фосфора до 0,7-0,8 %, затем резко падает.

Фосфор в чугун часто вводят специально, с целью повышения жидкотекучести сплава (особенно для тонкостенных отливок в художественном литье).

### **3.5. ПОЛУЧЕНИЕ ОТЛИВОК ИЗ СЕРОГО ЧУГУНА**

Для конструкционных чугунов (серого, ковкого, высокопрочного чугуна с шаровидным или вермикулярным графитом, а также низколегированного алюминиевого чугуна) важнейшими являются механические свойства, которые определяют их применение в разных областях машиностроения и металлургии. Вместе с тем, к ним часто предъявляются требования по износостойкости, сопротивлению коррозии и другим физическим и химическим свойствам. Эти свойства в отливках обеспечиваются применением обычных нелегированных или низколегированных чугунов. Если требуются более высокие характеристики, то применяют средне- или высоколегированные чугуны. Наряду с механическими, физическими и химическими свойствами предъявляют требования по технологическим свойствам, главными из которых являются литейные.

Из конструкционных чугунов лучшими в этом отношении являются серые чугуны, что позволяет получать из них отливки без прибылей и с наибольшим выходом годного металла. В настоящее время 90 % отливок из чугуна - это серый чугун (его отличают хорошая жидкотекучесть,

небольшая усадка, небольшая склонность к трещинообразованию и газопоглощению).

Серый чугун маркируется следующие марки: СЧ10, СЧ15, СЧ 20, СЧ25, СЧ30, СЧ35. По требованиям потребителя для изготовления отливок допускаются марки: СЧ18, СЧ21, СЧ24. Условное обозначение марки включает буквы СЧ - серый чугун и цифровое обозначение величины минимального временного сопротивления при растяжении в МПа $10^{-1}$ .

Серый чугун широко применяется в тяжелом машиностроении (27 %); в тракторном и сельскохозяйственном машиностроении (21 %); в общем машиностроении (20,9 %); автомобилестроении (14,9 %); станкостроении (11,8 %) и в ряде других отраслей (4,4 %).

Химический состав серого чугуна с пластинчатым графитом приведен в табл. 58.

Таблица 58

Химический состав чугуна с пластинчатым графитом

Марка чугуна	Массовая доля элементов, % (остальное железо)				
	С	Si	Mn	Р	S
				не более	
СЧ10	3,5-3,7	2,2-2,6	0,5-0,8	0,3	0,15
СЧ15	3,5-3,7	2,0-2,4	0,5-0,8	0,2	0,15
СЧ20	3,3-3,5	1,4-2,4	0,7-1,0	0,2	0,15
СЧ25	3,2-3,4	1,4-2,2	0,7-1,0	0,2	0,15
СЧ30	3,0-3,2	1,3-1,9	0,7-1,0	0,2	0,12
СЧ35	2,9-3,0	1,2-1,5	0,7-1,1	0,2	0,12

Примечание. Допускается низкое легирование чугуна различными элементами (хромом, никелем, медью, фосфором и др.).

Ориентировочные данные о временном сопротивлении при растяжении и твердости в стенках отливки различного сечения приведены в табл. 59.

Из табл. 58-59 видно, что важнейшими элементами, определяющими механические свойства серого чугуна, являются те же, что определяют его структуру: углерод и кремний, по сути определяющие марку чугуна [10-11].

Таблица 59

Временное сопротивление при растяжении и твердость в стенках отливок различного сечения

Марка чугуна	Толщина стенки отливки, мм			
	8	15	50	150

Временное сопротивление при растяжении, МПа, не менее

СЧ10	120	100	75	65
СЧ15	180	150	105	80
СЧ20	220	200	140	120
СЧ25	270	250	180	150
СЧ30	330	300	220	180
СЧ35	380	350	260	205

Твердость, НВ, не более

СЧ10	200	190	156	120
СЧ15	224	210	163	130
СЧ20	240	230	170	143
СЧ25	255	245	187	156
СЧ30	270	260	197	163
СЧ35	290	275	229	179

### 3.6. Модификаторы и методы модифицирования при получении высокопрочных марок серого чугуна с пластинчатым графитом

При модифицировании чугуна кроме снижения отбела добиваются еще и поверхностной прочности чугуна. В связи с этим модификаторы, снижающие отбел, называют *графитизирующими*, а модификаторы, повышающие прочность чугуна - *стабилизирующими*. Обычно графитизирующие модификаторы содержат элементы, способствующие кристаллизации графита и образованию ферритной матрицы. Это Si, Al, Ca, Ba, Ti, Cu, Ni, C. Стабилизирующие модификаторы содержат Mn, V, Cr, B, W и другие. Эти элементы способствуют кристаллизации цементита и образованию перлитной матрицы.

Большинство модификаторов разработано на основе ферросилиция, т.е. содержат железо, кремний и добавки к ним либо стабилизирующие, либо графитизирующие. Например, Si, Cu, Al, затем Mn, Zr и Ba. Количество компонентов от двух до восьми.

Графитизирующие модификаторы как правило содержат определенное количество кремния и один или несколько химически активных по отношению к кислороду, азоту и сере элементов (Al, Ca, Ba, Zr, Ti).

Стабилизирующие модификаторы кроме кремния содержат марганец, хром, никель или кобальт.

Содержание элементов в модификаторах различно от десятых долей процента до 10 процентов. Известно более 400 модификаторов чугуна. Однако, на практике наиболее часто применяют два из них: ФС75 и СК10.

В настоящее время существуют следующие способы введения модификатора: в печь; в струю расплава при переливе из печи в ковш; на желоб печи; в струю металла при переливе из раздаточного ковша в разливочный; в ковш на дно; в формы.

### 3.7.Отливки из чугуна с вермикулярным графитом. Свойства, область применения

В настоящее время все чаще применяют чугун с вермикулярным (червеобразным) графитом (ЧВГ), имеющий преимущественно ферритную основу. Вермикулярная форма графита занимает как бы промежуточное положение между пластинчатой и шаровидной, поэтому чугун с вермикулярным графитом имеет более высокие прочностные свойства, чем чугун с графитом пластинчатой формы, но более низкие, чем высокопрочный чугун с шаровидным графитом. Чугун с вермикулярным графитом выплавляют из особо чистых шихтовых материалов, содержащих малое количество серы.

Сначала чугун с вермикулярной формой графита считался браком при изготовлении отливок из высокопрочного чугуна. Однако позднее выяснилось, что такой чугун обладает рядом специфических свойств, которые выдвигают его в число новых перспективных конструкционных материалов для отливок различного назначения. Этот материал может быть использован взамен серого чугуна для ряда ответственных деталей общего машиностроения, к материалу которых по условиям их работы предъявляются повышенные требования по прочностным и пластическим характеристикам.

Вермикулярный графит (*ВГ*) подобно пластинчатому графиту (*ПГ*) имеет форму взаимосвязанных графитовых лепестков. Однако лепестки вермикулярного графита отличаются от пластинчатого меньшей степенью неравномерности, то есть отношение длины лепестка *ВГ* к толщине равно:

$$l/b = 2-5, \text{ а у ПГ больше } 10.$$

*ВГ* имеет более округлую форму кромок. В структуре чугуна с вермикулярным графитом всегда имеется некоторое количество шаровидного графита, остальной графит округлой продолговатой формы, особенно на концах включений, поэтому концентрация напряжений около таких включений меньше, чем у серого чугуна, с чем и связано появление пластических свойств (относительное удлинение 2-5 %). Чугун с

вермикулярным графитом сочетает в себе хорошие литейные свойства серого чугуна и высокие механические свойства высокопрочных чугунов, такое сочетание свойств достигается, когда в структуре чугуна содержатся 80-90 % ВГ, а остальное *ШГ*, при этом не допускается пластинчатый графит.

По прочности чугун с вермикулярным графитом находится на уровне высокопрочных чугунов, однако пластичность, вязкость, модуль упругости, термостойкость, сопротивление коррозии выше, чем у серых чугунов высоких марок.

Чугун с вермикулярным графитом более технологичен, чем серый чугун высоких марок и высокопрочный с шаровидным графитом. Усадка чугуна с вермикулярным графитом меньше, чем у чугуна с пластинчатым графитом. Склонность к отбелу у чугуна с вермикулярным графитом ниже, чем у серого и высокопрочного с шаровидным графитом, меньшая по сравнению с серым чугуном чувствительность к толщине стенок, поэтому из чугуна с вермикулярным графитом можно получать более тонкостенные отливки без отбела. Следует отметить, что обрабатываемость резанием у чугуна с вермикулярным графитом значительно лучше, чем у стали и высокопрочного чугуна с шаровидным графитом. Особенно эффективно использование чугуна с вермикулярным графитом для отливок большой массы и деталей сложной конфигурации (блоки двигателей, головки цилиндров и др.). При этом чугун с вермикулярным графитом на 20-25 % дешевле, чем отливки из ковкого чугуна и высокопрочного чугуна с шаровидным графитом.

В промышленности этот чугун стал использоваться с 1968 года и имеет следующие марки: ЧВГ30, ЧВГ35, ЧВГ40, ЧВГ45 с содержанием углерода 3,1-3,8 %, кремния 2-3 %, марганца 0,2-1,2 %, фосфора до 0,05 % и серы до 0,025 %. Химический состав чугуна с вермикулярным графитом приведен в табл. 60.



## Химический состав чугуна с вермикулярным графитом

Марка чугуна	Массовая доля элементов, % (остальное железо)							
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Cu	магний $\Sigma$ РЗМ
ЧВГ30	3,5-3,8	2,2-3,0	0,2-0,6	До 0,08	До 0,025	До 0,15	-	0,015-0,028* 0,10-0,20
ЧВГ35	3,5-3,8	2,2-2,8	0,2-0,6	До 0,08	До 0,025	До 0,15	-	0,02-0,028 0,10-0,20
ЧВГ40	3,1-3,5	2,0-2,5	0,4-1,0	До 0,08	До 0,025	До 0,25	0,4-0,6	0,02-0,028 0,10-0,20
ЧВГ45 **	3,1-3,5	2,0-2,5	0,8-1,2	До 0,05	До 0,025	До 0,30	0,8-1,0	0,02-0,028 0,10-0,20

\* Цифры в числителе соответствуют содержанию остаточного магния в чугуне, в знаменателе - остаточному содержанию суммы редкоземельных элементов (РЗМ).

\*\* Для получения износостойкого и теплостойкого перлитного чугуна с вермикулярным графитом допускается легирование чугуна марки ЧВГ45 0,8-1,2 % никеля и 0,2-0,4 % молибдена.

Условное обозначение марки включает:

- букву Ч - чугун;
- буквы ВГ - форма графита (вермикулярный графит);
- цифровое обозначение минимального значения временного сопротивления разрыву при растяжении в МПа $10^{-1}$ .

Из известных способов получения чугуна с вермикулярным графитом наиболее перспективным с технологической точки зрения, обеспечивающим стабильное получение вермикулярного графита,

является обработка расплава редкоземельными металлами - РЗМ (Ce, Y и др.), вводимых в чистом виде или в виде лигатур. Целесообразнее использовать РЗМ в виде многокомпонентных лигатур, позволяющих снизить стоимость модификаторов, повысить уровень усвоения элементов, а также полностью исключить пироэффект и дымовыделение при обработке чугуна. Модифицирование Ce и Y в небольших количествах (0,03-0,1 %) способствует графитизации, а в количестве 0,15-0,25 % приводит к получению вермикулярного графита и резкому повышению прочности и пластичности чугуна.

Степень усвоения РЗМ повышается с понижением температуры обработки и уменьшением содержания серы в металле и колеблется в больших пределах (от 30 до 90 %). Во всех случаях следует иметь в виду, что при высоком содержании кальция лигатура плохо усваивается чугуном при низкой температуре; лигатуры же с высоким содержанием РЗМ не только дороги, но часто отбеливают чугун.

В зависимости от условий производства лигатуру можно вводить непосредственно в тигель печи при 1350-1400 °С, на дно разливочного ковша или в струю металла при 1430-1450 °С из расчета получения остаточного содержания РЗМ в пределах 0,10-0,15 %, в том числе 0,02-0,06 % Ce. При этом величина присадки лигатуры определяется количеством в ней РЗМ и зависит от содержания серы в исходном чугуне.

Механические, физические (особенно теплопроводность) и литейные свойства чугуна с вермикулярным графитом существенно зависят от количества шаровидного графита, образующегося одновременно с вермикулярным графитом. При этом, чем больше шаровидного графита, тем выше временное сопротивление при растяжении, ниже теплопроводность, выше пластичность и больше объем усадочных раковин (табл. 61).

Таблица 61

Зависимость механических свойств и объема усадочных раковин в чугунах с вермикулярным графитом от содержания шаровидного графита (ШГ)

ШГ, %	Временное сопротивление при растяжении $\sigma_b$ , МПа $10^{-1}$	Относительное удлинение $\delta$ , %	Объем усадочных раковин $V_p$ , %
10-20	32-38	2-5	1,8-2,2
20-30	38-45	2-6	2,0-2,6
40-50	45-50	3-6	3,2-4,6

Оптимальную совокупность свойств прочности и пластичности обеспечивает чугун с вермикулярным графитом с 20-30 % шаровидного графита (остальное ВГ) при составе: 3,5-3,6 % С; 2,4-2,6 % Si; 0,6-0,8 % Mn; 0,02-0,06 % Р и 0,10-0,15 % РЗМ. При этом важно отметить, что чугун с вермикулярным графитом сохраняет высокие показатели механических свойств и в отливках с толстыми стенками (табл. 62,).

Таблица 62

Влияние приведенной толщины стенки на механические свойства чугуна с вермикулярным графитом

Механические свойства, не менее	Приведенная толщина стенки, мм				
	10	20	30	50	100
Временное сопротивление при растяжении $\sigma_b$ , МПа	450	420	400	380	350
Относительное удлинение $\delta$ , %	3,8	3,5	3,0	2,8	2,5
Твердость по Бринеллю, НВ	190	180	170	170	160

Следует отметить, что сочетание высоких механических свойств (прочности и пластичности) и повышенного коэффициента теплопроводности (по сравнению с высокопрочным чугуном) позволяет использовать его взамен серого чугуна для ответственных деталей общего машиностроения, особенно для деталей, работающих в условиях теплосмен и значительных перепадов температур, например, в дизелестроении. Кроме того, чугун с вермикулярным графитом характеризуется линейной (свободной) усадкой равной линейной усадке серого чугуна (около 1 %). Объем усадочных раковин (табл. 61) изменяется в зависимости от  $\sigma_{\text{вв}}$  пределах 2-4 %, т.е. в 1,5-2 раза меньше, чем у чугуна с шаровидным графитом, и лишь немного превосходит серый чугун. При этом чугун с вермикулярным графитом допускает в отливках большую разностенность (меньшую склонность к изменению механических свойств от толщины стенки).

Перевод отливок из серого чугуна на чугун с вермикулярным графитом, как правило, возможен без переделки моделей и литниково-питающей системы.

Чугуны марок ЧВГ30, ЧВГ35, ЧВГ40 применяются для изготовления деталей, работающих при повышенных циклических и механических нагрузках, при переменных повышенных температурах. Из них изготавливают детали станков, кузнечно-прессового оборудования, корпусные детали, крепежные детали рам, тормозные рычаги тракторов, соединительные фланцы, крышки коробки передач, выхлопные патрубки, ступицы колес, балансиры. Чугун с вермикулярным графитом применяют при изготовлении головок цилиндров, корпусов турбокомпрессоров, корпусов газовых турбин, изложниц, кокильной оснастки и др.

ЧВГ45 применяется для деталей, работающих при значительных термодинамических и механических нагрузках (поршни и гильзы ДВС, корпуса гид-

роаппаратуры высокого давления, эксцентриковые зубчатые колеса, корпуса винтовых передач и др.).

Стабильная технология модифицирования и хорошие литейные свойства чугуна с вермикулярным графитом дают возможность получать из этого материала качественные сложные фасонные отливки, как тонкостенные, так и массивные (массой от десятков килограмм до нескольких тонн).

### **3.8. Особенности подготовки чугуна для модифицирования. Способы введения магниевого модификатора**

Все современные методы ввода магния в чугун можно разделить на две группы: методы (магний вводится под избыточным давлением) и методы (магний вводится при обычном атмосферном давлении).

*Модифицирование магнием под избыточным давлением.* Эти методы основаны на изменении температуры кипения вещества при изменении давления.

На практике установлено, что при повышении давления выше атмосферного на величину 0,5-0,6 МПа температура кипения магния увеличивается с 1107 °С (при  $p = 1$  атм) до 1350 °С (при  $p = 1,5$  атм). Избыточное давление над жидким чугуном создается в специальных устройствах, а именно в автоклавах или герметизированных ковшах определенной емкости.

При небольших объемах производства, а также при выполнении лабораторных и исследовательских работ предпочтителен метод ввода модификатора под колокольчиком в ковше с тяжелой металлической крышкой (рис.133, а). В шамотографитовый или стальной колокольчик 1 с отверстиями в боковых стенках закладывают и закрепляют бумажный пакет с навеской модификатора, крышку 2 устанавливают на ковш. Колокольчик опускают в глубь металла.

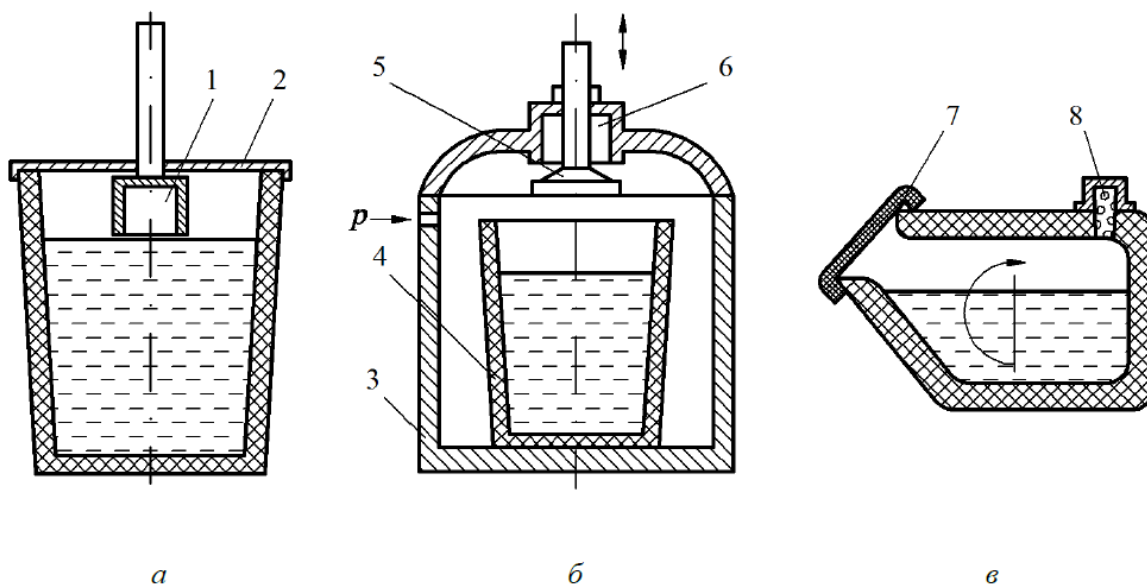


Рис. 133. Способы ввода в расплав сфероидизирующих модификаторов:  
*а* - под колокольчиком; *б* - в автоклаве; *в* - в герметизированном ковше-конвертере; 1 - колокольчик; 2 - крышка; 3 - корпус автоклава; 4 - ковш с металлом; 5 - мешалка; 6 - полость для модификатора; 7 - крышка ковша; 8 - модификатор

При использовании в качестве модификатора металлического магния наилучшие результаты дает применение автоклава (рис. 133, б). В стальной корпус автоклава 3 при снятой крышке устанавливают ковш с металлом 4. В полость 6 крышки закладывают навеску магния и закрывают ее мешалкой 5. Крышку устанавливают на корпус автоклава, стык между ними герметизирован. Между крышкой и штоком мешалки также имеется уплотняющая манжета. После подачи воздуха в автоклав под давлением  $p$  пневматический цилиндр опускает мешалку вниз, при этом модификатор падает в металл, который перемешивается в процессе возвратно-поступательного движения мешалки.

Данный метод широко применялся в промышленности до разработки методов модифицирования с помощью лигатур.

Широкое распространение получили также герметизированные ковши, принцип действия которых показан на рис. 133, в. В зарядную камеру

закладывают расчетное количество модификатора 8. Плотнo закрывают крышку 7. В ковш через горловину (при открытой крышке 7) заливают чугун (до определенного уровня). Плотнo закрывают крышку. Ковш поворачивают на 90°, при этом камера затопляется расплавом. Магний нагревается до температуры кипения, пары магния создают повышенное давление (до 1,5 атм.), температура кипения магния повышается, его интенсивное испарение прекращается. Магний начинает растворяться в расплаве. Продолжительность обработки составляет 3-4 мин (на 10 т металла).

*Модифицирование под атмосферным давлением* может осуществляться несколькими способами:

- применение магния в виде механической смеси с ферросилицием. Для этого вначале готовятся порошкообразный магний и дробленый ферросилиций. После смешивания этих компонентов в определенном соотношении смесь вводят в расплав чугуна не в печь, а при переливе из печи в ковш или из ковша в форму;

- модифицирование с помощью кокса, пропитанного магнием. Согласно этому способу отдельно, по специальной технологии готовится кокс, пропитанный 40-45 % магнием. Затем этот кокс укладывается на дно пустого тигля. Тигель заполняется расплавом и магний, переходя из кокса в расплав, модифицирует его [7].

Наиболее часто из второй группы методов для модифицирования применяются специально приготовленные лигатуры на основе ферросилиция, никеля, меди с добавлением в отдельных случаях кроме магния: кальция, бария, церия, иттрия и РЗМ. Часто используются лигатурой на основе никеля, магния и церия, содержащие 15 % магния и 5 % церия (плотность 5-6 кг/дм<sup>3</sup>); а также лигатурой, на основе железа, кремния и магния типа ФСМг5, ФСМг6, содержащие 50-60 % кремния и 3-10 % магния (плотность такой лигатуры 3-3,5 кг/дм<sup>3</sup>). Первая лигатура более тяжелая, но и более дорогая. Эти лигатуры могут дополнительно содержать немного кальция, бария,

церия и ряд других элементов для обеспечения рафинирования и десульфурации. Тяжелые лигатуры на основе никеля обычно закладывают на дно ковша в виде кусков, перед заполнением его чугуном. При использовании более легких лигатур на основе кремния необходимы специальные технологические приемы. Например, выпуск чугуна в ковш с лигатурой, помещенной в кармане ковша. В футеровке днища разливочного ковша делается специальная полость, соответствующая объему загружаемого в нее модификатора. После укладки расчетного количества лигатуры, ее сверху прикрывают стальной высечкой толщиной 1,5-8 мм в количестве 1,5-2,0 % от массы металла. Струя жидкого чугуна направляется в противоположную часть ковша и затем распространяется по прикрытой лигатуре. Этот процесс называется «Сэндвич-процесс». Применяется данный процесс при тяжелых и средних по плотности лигатурах. Реакция протекает спокойно и длится 20-120 с. При использовании лигатуры с размерами кусков 10-20 мм достигается следующее усвоение магния: 41 % из лигатуры магний, железо и кремний, 78 % из лигатуры никель, магний и кремний и 91 % из никеле-магниевого лигатуры. При использовании никеле-магниевого лигатуры при обычной загрузке на дно ковша без прикрытия получено усвоение магния, равное 25 %, при использовании способа «Сэндвич» - 51 %. Несмотря на предпринимаемые меры, расход лигатуры на основе кремния намного больше, чем расход лигатуры на основе никеля.

В некоторых случаях для уменьшения расхода лигатуры применяют ковш со специальным устройством, карманом, образованным перегородкой дна. Перегородка делит дно ковша на две неравные части. Лигатура укладывается в меньшее по объему углубление, образованное перегородкой, и прикрывается сверху слоем мелкого слегка утрамбованного карбида кальция, который предотвращает контакт металла с модификатором вначале заполнения ковша металлом; а затем выполняет роль десульфуратора. Расход



модификатора при этом способе получается меньше, чем при способе «Сэндвич».

Для улучшения растворения магниевых лигатур необходимо расплав в ковше перемешивать (с использованием механических мешалок или продувают расплав инертным газом). Степень усвоения магния из лигатур при этом достигает 50 %.

Из известных методов модифицирования лигатурами наибольший эффект достигается модифицированием в литейной форме («inmoldprocess»). Тонко измельченную лигатуру помещают в расположенную под питателем реакционную камеру. При определенном сочетании температуры и скорости заливки чугуна модификатор растворяется движущимся потоком металла по мере заполнения формы. Реакция протекает без прямого контакта с воздухом, пироэффект отсутствует. Самый минимальный расход лигатур. Этот способ позволяет повысить коэффициент усвоения магния из лигатур до 65-90 %. Однако, при использовании этого метода необходимо предусматривать, чтобы в базовой шихте было минимальное количество серы и чтобы лигатура была однородной по составу, кроме того, необходим строгий контроль температуры и скорости заливки, а также точный и правильный расчет литниковой системы.

***Модифицирование с помощью проволоки.*** В расплав с постоянной скоростью подается проволока, полученная путем прессования порошкообразной лигатуры, содержащей железо, кремний и магний. Проволока подается в процессе заливки формы в струю у литниковой системы.

Влияние температуры и состава модификатора на усвоение магния может характеризоваться данными табл. 63, примерная дозировка присадок магния - в табл. 64. Усвоение модификатора ниже, чем в первой группе.

Влияние температуры и состава модификатора на усвоение магния

Модификатор	Усвоение магния, % при температуре, °С		
	1350-1400	1400-1450	1450-1500
14-16 % Mg 82-85 % Ni	70-60	60-50	50-40
17-20 % Mg 50-55 % Ni , 25-30 % Si	55-45	45-35	35-30
12-16 % Mg 12-20 % Fe, остальное Si	30-20	20-15	15-10

В практике литейного производства для выплавки высокопрочного модифицированного чугуна с шаровидной формой графита применяются следующие плавильные агрегаты [7,10]:

- вагранка холодного дутья при последующей десульфурации и модифицировании в ковше;
- индукционная чугуноплавильная тигельная печь (ИЧТ) с кислой футеровкой и десульфурацией карбидом кальция;
- ИЧТ с футеровкой на основе электрокорунда и дистенсиллиманита с основным шлаком;
- газовые вагранки и др.

Однако стабильные результаты по получению высококачественных ВЧШГ обеспечиваются применением дуговых электрических печей с основной футеровкой емкостью 50 и более тонн. Содержание серы в металле не превышает 0,012 %.

Примерная дозировка магниевых присадок при получении чугуна с шаровидной формой графита

Метод обработки чугуна магниевыми присадками	Температура металла при присадке магния, °С	Количество магния (% от массы жидкого чугуна) при применении			
		магния металлического	магниевых лигатур с содержанием магния, %		
			40-50	15-25	8-10
В барабанных, конвертерных или других открытых ковшах емкостью до 1,5 т с обработкой чугуна вне камер и с вводом присадок в колоколах, карманах ковшей или с помощью простых удерживающих приспособлений	1350-1400	0,35-0,45	до 0,4	0,25-0,30	0,15-0,25
	1410-1450	0,45-0,55	до 0,5	0,30-0,35	0,20-0,25
В ковшах открытого типа емкостью 2-10 т и более с обработкой металла в камерах или вне камер под крышками с вытяжкой и в копильниках вагранок при вводе присадок в колоколах	1350-1400	0,40-0,60	до 0,5	0,30-0,35	0,20-0,25
	1410-1450	0,50-0,70	до 0,6	0,25-0,30	0,15-0,20
Под давлением в специальных ковшах и автоклавах	1350-1400	0,15-0,30	до 0,25	~ 0,20	~ 0,15
	1410-1450	0,20-0,35	до 0,30	~ 0,25	~ 0,20

Т.к. при вводе в чугун металлического магния реакция испарения и сгорания магния протекает очень быстро и носит взрывной характер, то во всех способах плавки ВЧШГ осуществляется ввод магния в ковш на максимальную глубину и движение паров магния снизу вверх к зеркалу металла.

Одновременно должны быть обеспечены защита обслуживающего персонала от свечения и выбросов чугуна и эффективный отвод выделяющихся газов.

Ковш надо наполнять жидким чугуном не более чем на 70-80 % по высоте. Поверхность жидкого чугуна перед вводом модификатора должна быть очищена от шлака. Нормальная продолжительность реакции 1-5 мин. Об окончании реакции судят по прекращению свечения или выделения белого дыма, а также по времени. При повторном графитизирующем модифицировании тщательно счищают шлак, образовавшийся при обработке магнием, вводят ферросилиций (ФС75) или лигатуру из ферросилиция, алюминия и кальция и хорошо перемешивают их с металлом. Процессы плавки и модифицирования должны строго контролироваться.

Следует иметь в виду, что при выдержке модифицированного чугуна наблюдается демодификация вследствие уменьшения содержания магния, особенно в ковшах и тиглях с кислой футеровкой. Темп уменьшения содержания магния в расплаве резко снижается при выдержке в тигле с нейтральной или магнезитовой футеровкой. Оптимальной для выдержки и подогрева жидкого магниевых чугуна является дистенсиллиманитовая футеровка, которая по нейтральным свойствам не уступает графиту, а по стойкости - кварцитовой футеровке.

Из всех рассмотренных способов ввода модификатора наибольшее распространение получили: обработка магния в автоклаве, в герметизированном ковше, обработка лигатурами и модифицирование в форме.

### **3.9. Производство отливок из ковкого чугуна. Марки, состав и свойства ковкого чугуна**

Ковкий чугун получают длительным нагревом при высоких температурах (отжигом) отливок из «белого» чугуна. В результате отжига образуется графит хлопьевидной формы. Такой графит по сравнению с пластинчатым

значительно меньше снижает прочность и пластичность металлической основы.

Металлическая основа ковкого чугуна: феррит-ферритный ковкий чугун (рис. 134, *а*) и реже перлит-перлитный ковкий (рис. 134, *б*). Наибольшей пластичностью обладает ферритный ковкий чугун, который широко применяется в машиностроении.

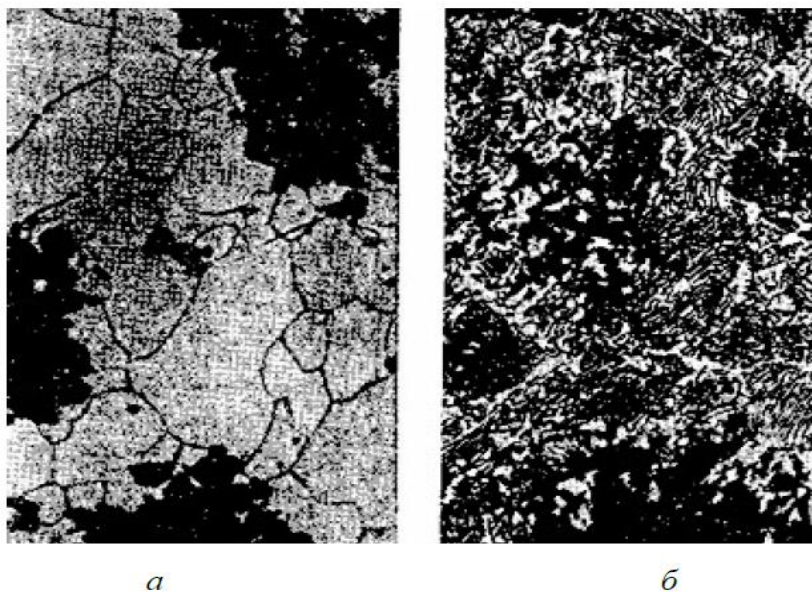


Рис. 134. Микроструктура ковкого чугуна: *а* - ферритный чугун; *б* - перлитный чугун,  $\times 500$

Химический состав белого чугуна, отжигаемого на ковкий чугун, выбирается в пределах, %: 2,5-3,0 С; 0,5-1,5 % Si 0,3-1,0 % Mn (в зависимости от требуемой структуры металлической основы); 0,08-0,12 % S и 0,08-0,2 % P. Для получения более высоких механических свойств содержание углерода должно быть меньше и не превышать 2,8 %. Иначе, особенно при отжиге на ферритный чугун, образуется большое количество графита, отрицательно влияющего на прочность и пластичность [7].

Толщина сечения отливки не должна превышать 40-50 мм. При большем размере отливок в сердцевине возможно образование пластинчатого графита и чугун становится непригодным для отжига.

На рис. 135 приведена принципиальная схема отжига на ферритный ковкий чугун. Он проводится в две стадии. Первоначально отливки (чаще упакованные в ящике с песком) выдерживают при 950-970 °С. В этот период протекает первая стадия графитизации, т.е. распад цементита, входящего в состав ледебурита ( $A + Fe_3C$ ), и установление стабильного равновесия аустенит + графит. В результате распада цементита образуется хлопьевидный графит (углерод отжига).

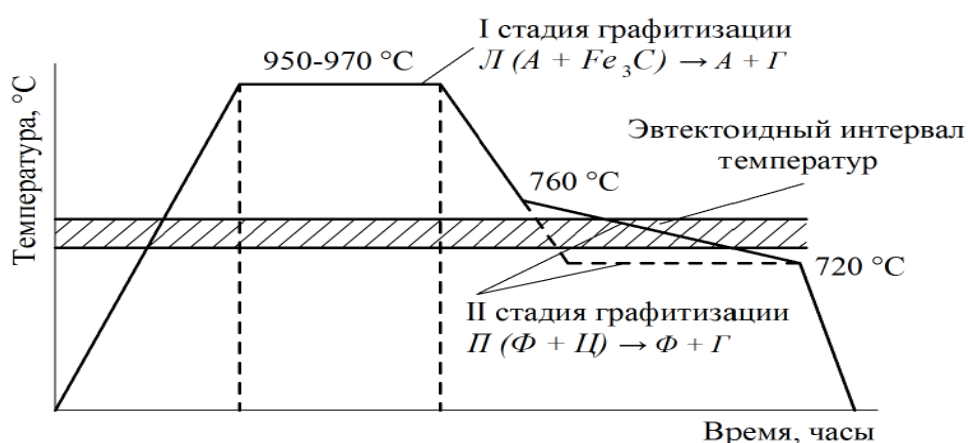


Рис. 135. Схема отжига ковкого чугуна:  $A$  - аустенит;  $P$  - перлит;  $\Phi$  - феррит;  $G$  - графит;  $L$  - ледебурит

Затем отливки охлаждают до температур, соответствующих эвтектоидному превращению. При охлаждении происходит выделение из аустенита вторичного графита и рост графитных включений. По достижении эвтектоидного интервала температур охлаждение резко замедляют или дают длительную выдержку при температуре несколько ниже этого интервала (рис. 135).

В этот период протекает вторая стадия графитизации: распад аустенита с образованием феррито-графитной смеси (при медленном охлаждении в стабильной системе Fe-C) или распад цементита, входящего в перлит, с образованием феррита и графита (в процессе выдержки ниже эвтектоидной температуры) [7].

После окончания второй стадии графитизации структура чугуна состоит из феррита и хлопьевидного графита. Такой отжиг выполняют более часто. Излом ферритного чугуна бархатисто-черный благодаря большому количеству графита.

Если выдержка при второй стадии графитизации была недостаточно длительной, то графитизацию претерпевает лишь часть цементита, входящего в перлит, образуется феррито-перлитный ковкий чугун ( $\Phi + П + Г$ )

Если выдержка ниже эвтектоидной температуры не проводится, то образуется перлитный ковкий чугун ( $П + Г$ ), имеющий светлый (сталистый) излом.

Иногда отжиг ведут в окислительной и обезуглероживающей среде (засыпка уложенных в ящики отливок рудой или окалиной), что приводит к полному обезуглероживанию поверхности отливки. При таком отжиге вторую стадию графитизации не проводят и получают перлитно-ферритный ковкий чугун. Излом чугуна светло-серый. Отжиг на ковкий чугун - очень длительная операция, она длится до 100-120 ч (рис. 136) [7].

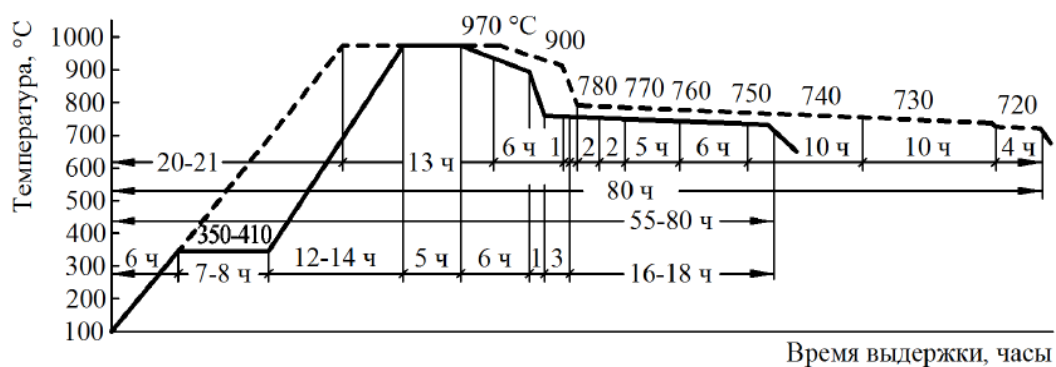


Рис. 136. Режимы отжига ковкого чугуна: сплошные линии - режим ускоренного отжига на ковкий чугун

Ковкий чугун маркируется буквами КЧ и цифрами. Химический состав для отливок из ковкого чугуна ферритного и перлитного классов приведен в табл. 65.

Таблица 65

Механические свойства и рекомендуемый химический состав ковкого  
чугуна

Марка чугуна	Массовая доля элементов, % (остальное железо)			Механические свойства		
	С	Si	Mn	временное сопротивление разрыву, МПа	относительное удлинение, %	твердость, НВ
Ферритный чугун						
КЧ30-6	2,6-2,9	1,0-1,6	0,4-0,6	294	6	100-163
КЧ33-8	2,6-2,9	1,0-1,6	0,4-0,6	323	8	100-163
КЧ35-10	2,5-2,8	1,1-1,3	0,3-0,6	333	10	100-163
КЧ37-12	2,4-2,7	1,2-1,4	0,3-0,6	362	12	100-163
Перлитный чугун						
КЧ45-7	2,5-2,8	1,1-1,3	0,3-1,0	441	7	150-207
КЧ50-5	2,5-2,8	1,1-1,3	0,3-1,0	490	5	170-230
КЧ55-4	2,5-2,8	1,1-1,3	0,3-1,0	539	4	192-241
КЧ60-3	2,5-2,8	1,1-1,3	0,3-1,0	588	3	200-269
КЧ65-3	2,4-2,7	1,2-1,4	0,3-1,0	637	3	212-269
КЧ70-2	2,4-2,7	1,2-1,4	0,3-1,0	686	2	241-285
КЧ80-1,5	2,4-2,7	1,2-1,4	0,3-1,0	784	1,5	270-320

Примечание. Содержание примесей: P < 0,10-0,18 %; S < 0,06-0,20 %; Сг < 0,06-0,08 %

Первые две цифры указывают предел прочности при растяжении и вторые цифры - относительное удлинение. Отливки изготовляют из ковкого чугуна марок:

-КЧ30-6; КЧ33-8; КЧ35-10; КЧ37-12 ферритного класса, характеризующегося ферритной или ферритно-перлитной микроструктурой металлической основы;

-КЧ45-7; КЧ50-5; КЧ55-4; КЧ60-3; КЧ65-3; КЧ70-2; КЧ80-1,5 перлитного класса, характеризующегося в основном перлитной микроструктурой металлической основы.

Ковкие чугуны имеют достаточно высокую прочность, пластичность, сопротивляемость ударным нагрузкам и износостойкость в сочетании с



хорошей обрабатываемостью. По сравнению с серыми чугунами они более прочны и пластичны; отливки из ковких чугунов могут даже правиться в прессах, но они, несмотря на свое название, как и серые чугуны, ковке не подвергаются.

Ковкие чугуны используются для изготовления деталей, работающих в более тяжелых по сравнению с серыми чугунами условиях (шестерни, звенья цепей, детали сельскохозяйственных машин, трубопроводов и т.д.), а также в качестве заменителей цветных металлов и углеродистых сталей.

Отливки из ковкого чугуна применяют для деталей, работающих при ударных и вибрационных нагрузках. Так, например, ферритный ковкий чугун марок КЧ37-12 и КЧ35-10 используют для деталей, работающих при высоких динамических и статических нагрузках (картеры редукторов, задний мост, ступицы, крюки, скобы и т.д.).

### **3.10. Производство отливок из легированных чугунов. Классификация, марки, состав и свойства легированных чугунов**

Промышленные легированные чугуны являются сложными многокомпонентными сплавами. Оценка принадлежности чугунов к этому классу литейных материалов устанавливается на основе сложившихся представлений о признаках легированности Fe-C сплавов. Принято считать, что такие чугуны должны содержать в своем составе специальные легирующие элементы или иметь повышенную концентрацию постоянных примесей.

Легирование является одним из методов управления процессами формирования структуры и свойств отливок из чугуна. К легированию прибегают для измельчения первичных структурных образований и получения однородной микроструктуры.

При этом за чисто внешним проявлением эффекта легирования кроются глубокие изменения, происходящие в твердых растворах и высокоуглероди-

стых фазах чугуна, полезность которых может быть усилена с помощью термической обработки.

Помимо этого, легирование используется еще как радикальное средство, с помощью которого отливки из чугуна приобретают необходимые специальные свойства (износостойкость, коррозионностойкость, жаростойкость, жаропрочность, особые магнитные и электрические характеристики, антифрикционные свойства).

Для достижения многих практических целей наиболее эффективным оказывается комплексное легирование чугунов, при котором в их состав вводят два и более легирующих элементов.

В настоящее время существует следующая классификация легированных чугунов:

- по количеству легирующих элементов: низколегированные (до 3 % легирующего элемента); среднелегированные (3-10 %) и высоколегированные (более 10 %);
- по назначению: износостойкие, жаростойкие, коррозионностойкие, жаропрочные, немагнитные и антифрикционные;
- по основному легирующему элементу: никелевые (ЧН2Х, ЧН4Х2); хромистые (ЧХ1, ЧХ16, ЧХ32); кремнистые (ЧС5, ЧС17); алюминиевые (ЧЮ6С5, ЧЮ30) и марганцевые (ЧГ7Х4, ЧГ8Д3).

***Износостойкие белые чугуны*** - это группа хромистых (Mn-Cr, Ni-Cr) чугунов, основной особенностью которых является наличие легированных карбидов железа или карбидов легирующих элементов, обеспечивающих высокую износостойкость в условиях абразивного износа.

Регулирование состояния металлической основы за счет легирования и термической обработки позволяет в достаточно широком интервале изменять износостойкость и обрабатываемость белого чугуна.

Механические свойства белого чугуна характеризуются прежде всего высокой твердостью, умеренной прочностью при растяжении и изгибе, практическим отсутствием пластичности.

Литейные свойства белого чугуна хуже, чем серого. Однако их жидкотекучести достаточно для получения литых заготовок с толщиной стенок 6-8 мм и ребрами толщиной 3-4 мм в обычных формах. Литейная усадка белых чугунов близка к низколегированной углеродистой стали.

Белые чугуны обладают повышенной склонностью к образованию горячих и холодных трещин, что связано с широким интервалом кристаллизации сплава, большой величиной линейной усадки, низкой теплопроводностью. Поэтому при конструировании литых деталей из белого чугуна и проектировании технологии формы, необходимо обеспечить минимальную затрудненную усадку, выравнивание температур в различных сечениях отливки.

Марки белых чугунов определяются «Чугун легированный для отливок со специальными свойствами», который предусматривает следующие марки белых износостойких чугунов:

- низколегированный хромистый марки ЧХ3Т;
- высоколегированные хромистые марок ЧХ9Н5, ЧХ3Т, ЧХ16, ЧХ16М2, ЧХ22, ЧХ28Д2, ЧХ32;
- высоколегированный марганцевый марки ЧГ7Х4;
- низколегированный никелевый марки ЧН4Х2.

Главное назначение белых износостойких чугунов - изготовление деталей машин и оборудования, которые находятся в контакте с абразивом - минеральным сырьем, строительными материалами и т.д.

Белые износостойкие чугуны выплавляют в дуговых или индукционных электрических печах. Плавка ведется методом переплава без активных металлургических процессов.

В случае использования высокоуглеродистого феррохрома, особенно при плавке в индукционной печи, рекомендуется перегрев расплава до 1500 °С и выдержку при этой температуре не менее 15 мин. Температура затвердевания зависит от толщины стенки отливки, типа литейной формы и содержания углерода.

### **3.11. ПЕРВИЧНЫЕ МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ПЛАВКИ ЧУГУНА**

В качестве шихтовых материалов, при выплавке чугунов, используют доменные чушковые чугуны, чугуны и стальной лом, ферросплавы и отходы собственного производства; легирующие, модифицирующие и рафинирующие добавки, а также вспомогательные шихтовые материалы - топливо, флюсы, специальные добавки. При выплавке чугуна в электропечах используют карбюризаторы для получения заданного содержания углерода в чугуне.

*Доменные чушковые чугуны* поставляются в виде чушек толщиной не более 30 мм (в месте пережима), массой: 18 кг (без пережима), 30 кг (с одним пережимом) и 45 кг (с двумя пережимами).

Поверхность чушек должна быть чистой (допускается налет извести и графита). Доменный чугун получают доменным процессом из железной руды при восстановлении железа углеродом кокса.

В настоящее время в литейных цехах используются литейные и передельные доменные чугуны.

*Чугуны литейные* подразделяют на шесть марок (Л1, ..., Л6 по содержанию углерода (от 3,5 до 4,6 %) и кремния (от 1,2 до 3,6 %)).

Наибольшее количество кремния содержится в чугуне марки Л1 (3,2-3,6 %), наименьшее - в чугуне Л6 (1,2-1,6 %).

Литейный доменный чугун каждой марки может поставляться четырех групп (I, II, III и IV), отличающихся содержанием марганца (до 0,5 % в I и до 0,9-1,5 % в IV); пяти классов по содержанию фосфора, обозначаемых буква-

ми А, Б, В, Г и Д. В классах А, Б и В содержание фосфора ограничивается - до 0,08 %; 0,12 % и 0,3 %, соответственно. В классе Г содержание фосфора составляет 0,3-0,7 %, а в классе Д - 0,7-1,2 %.

По содержанию S, литейные чугуны делятся на четыре категории, обозначаемые арабскими цифрами 1, 2, 3, 4.

В первой категории самый чистый по сере чугун, содержащий не более 0,02 % серы; а в чугуне 4-й категории ее содержание достигает 0,05 %.

Например, маркировка ЛЗ-П-Б-2 означает:

- ЛЗ - чугун литейный марки 3 с содержанием кремния от 2,2 до 2,8 %;
- П - по содержанию марганца чугун относится ко второй группе, т.е. содержание марганца составляет от 0,3 до 0,5 %;
- Б - по содержанию фосфора чугун относится к классу Б (содержание фосфора не должно превышать до 0,12 %);
- 2 - 2-я категория чугуна по сере (содержание серы в чугуне должно составлять не более 0,01 %).

Литейные доменные чугуны применяются для получения всех нелегированных марок серых чугунов. Содержание углерода не оговаривается ГОСТом, однако, чугуны всех марок должны поставляться с указанием его содержания в процентах.

**Литейный рафинированный магнием чугун** выплавляется марок ЛР1, ..., ЛР7 с содержанием кремния от 3,6 до 0,8 %. Чугун каждой марки может поставляться трех групп, обозначаемых I, II, III и содержащих от 0,3 до 1,0 % Mn; двух классов (А, Б), содержащих от 0,08 до 0,12 % фосфора и двух категорий, обозначаемых 1, 2 и содержащих от 0,005 до 0,01 % S. Низкое содержание серы - главное отличие этих чугунов.

В чушковом литейном рафинированном чугуне графитная спель (заэвтектический графит) не допускается, излом чушек должен быть плотным, без раковин.

Эти чугуны рекомендуется применять при выплавке чугуна с шаровидным графитом в электропечах с кислой футеровкой.

**Литейные природно-легированные доменные чугуны** получили свое название из-за того, что руды некоторых месторождений железа содержат хром, медь и другие металлы. В процессе доменной плавки оксиды частично восстанавливаются и легируют выплавленный чугун. Содержание легирующих элементов в этих чугунах невелико (0,3-3,0 %), поэтому присадка их в шихту позволяет получать низколегированные конструкционные чугуны при минимальном угаре легирующих элементов.

Наибольшее распространение получили три вида природно-легированных чугунов:

- хромоникелевые марок ЛХН1, ..., ЛХН10 (0,4-3,2 % Cr и 0,4-1,0 % Ni);
- титановые марок БТЛ3, ..., БТЛ7 (0,3 % Ti);
- титаномедистые марок БТМЛ3, ..., БТМЛ7 (0,3-1,2 % Ti и 2,0-3,0 % Cu).

**Передельные доменные чугуны** предназначены для дальнейшего передела в сталь или переплавки для получения отливок из чугуна.

Передельные чугуны выпускаются следующих марок:

- для сталеплавильного производства П1 и П2;
- для литейного производства ПЛ1 (0,9-1,21 % P) и ПЛ2 (0,5-0,9 % P)

Все эти марки делятся:

- по содержанию марганца на четыре группы, обозначаемые I, II, III, IV и содержащие от 0,3 до 1,5 % Mn;
- по содержанию фосфора на три класса, обозначаемые А, Б, В и содержащие от 0,08 до 0,3 % P;
- по содержанию серы на пять категорий (1, 2, 3, 4, 5 с содержанием серы от 0,01 до 0,05 %).

**Передельный фосфористый чугун.** При выплавке фосфористых чугунов (для поршневых колец) применяют фосфористые передельные

чугуны, содержащие от 0,3 до 2,0 % фосфора. Содержание кремния в этих чугунах показано в табл. 66.

Таблица 66

Содержание кремния в передельных фосфористых чугунах

Марки	ПФ1	ПФ2	ПФ3
Содержание кремния в марке, %	0,9-1,2	0,5-0,9	До 0,5

Также каждая марка делится на три группы по содержанию Mn (от 1 до 2 %); на три категории по содержанию Б (от 0,03 до 0,07 %) и на три класса по содержанию Р (от 0,3 до 2 %) и As (от 0,1 до 0,2 %).

**Передельный высококачественный рафинированный чугун** марок ПВК1, ПВК2 и ПВК3 используется для получения высокопрочного чугуна с шаровидным графитом и отличается пониженным содержанием фосфора и серы. Содержание кремния в этих чугунах составляет 0,2-0,5 %; марганца 0,5-1 %; фосфора 0,02-0,05 %; серы 0,015-0,025 %.

При применении передельных чугунов взамен литейных, в шихту необходимо вводить ферросилиций с небольшим содержанием кремния.

Преимущества применения передельных чугунов взамен литейных:

- стоимость металлошихты уменьшается;
- сокращается расход кокса;
- механические свойства чугуна выше, чем на литейном чушковом чугуне на 5-10 %.

### 3.12. Ферросплавы. Области их применения

**Ферросплавами** называют сплавы железа с одним или несколькими легирующими элементами, содержание этих элементов часто превышает содержание самого железа. Ферросплавы используются для корректировки химического состава по Si, Mn, Cr, Ni и другим легирующим элементам, а также для модифицирования чугуна. Первая буква во всех марках

ферросплавов - «Ф», за ней следуют буквы, соответствующие легирующему элементу.

**Ферромарганец.** В низко- и среднеуглеродистых ферромарганцах после букв Мн указывается содержание углерода в сплаве в процентах (например, ФМн2), а содержание марганца в них 75-85 %. В ферромарганце высокоуглеродистых марок ФМн75, ..., ФМн78 указывается содержание марганца в процентах (содержание углерода в них около 7 %).

Буквы в конце марки означают следующее:

- «А» - пониженное (до 0,05-0,1 %) содержание фосфора;
- «К» - пониженное содержание кремния;
- «С» - повышенное содержание кремния.

В табл. 67 приведен химический состав ферромарганца.

Таблица 67

Химический состав ферромарганца

Марка	ФМн5	ФМн6	ФМн7	Малоуглеродистый			Углеродистый	
				ФМн0,5	ФМн1,0	ФМн2,0	ФМн78	ФМн75
Содержание марганца, %	> 75	70-75	70-75	>85	>85	>85	78	75
Содержание кремния, %	< 2	< 2	< 1	-	-	-	-	-
Содержание углерода, %	-	-	-	0,5	1,0	2,0	7	7

Из всей номенклатуры марок ФМн, предусмотренных ГОСТом, применяют высокоуглеродистые менее дефицитные и экономичные - реже среднеуглеродистые.

**Феррохром.** Также как и ферромарганец, различают низко-, средне- и высокоуглеродистый с содержанием углерода соответственно до 0,5; 4 и 8 %.



Содержание углерода указывается в марке в сотых долях процента (например, в феррохроме ФХ050 содержится 0,50 % С). В маркировке азотированного феррохрома содержание азота указывается в сотых долях процента после буквы Н (например, ФХН200 - 2 % N). Содержание хрома во всех марках 60-68 %.

Химический состав феррохрома приведен в табл. 68.

Феррохром применяется только для легированных чугунов и сталей.

Таблица 68

Химический состав феррохрома

Марка	Безуглеро- -дистые	Малоуглеродистые				Среднеуглеро- -дистые		Углеро- дистые	
	ФХ001-006	ФХ010	ФХ015	ФХ025	ФХ050	ФХ100	ФХ250	ФХ650	ФХ800
Содержание углерода, %	0,01-0,06	0,1	0,15	0,25	0,5	1,0	2,5	6,5	8,0
Содержание хрома, %	> 68	> 65							

**Ферросиликохром** предназначен для одновременного легирования чугуна кремнием и хромом. Химический состав ферросиликохрома приведен в табл. 69.

Таблица 69

Химический состав ферросиликохрома

Марка	ФСХ13	ФСХ26	ФСХ48
Содержание кремния, %	13	26	48
Содержание хрома, %	55	до 28 %	

**Силикокальций** применяется для раскисления стали и модифицирования чугуна. В марке указывается минимальное содержание кальция, %. Например, СК10 (20-25 % Fe, 10-15 % Ca), СК15 (20-25 % Fe, 15-20 % Ca).

**Ферросилиций** применяется для раскисления стали, модифицирования чугуна и легирования чугуна и стали. Марки: ФС18, ФС25, ФС45, ФС60, ФС75, ФС90 (цифра показывает содержание кремния, %). Рекомендуются использовать ферросилиций марок ФС18, ФС25 и ФС45 для легирования; ферросилиций марок ФС45, ФС60 и ФС75 для раскисления; марок ФС75, ФС90 для модифицирования.

**Ферротитан** применяется для легирования и модифицирования чугуна и стали. В настоящее время выпускают ферротитан марок ФТи20, ФТи25, ФТи30, ФТи35, ФТи40.. .68. Цифра в марке указывает на содержание титана в процентах.

**Силикомарганец** применяется как комплексный раскислитель в производстве стали. В марке указывается минимальное содержание кремния. В табл. 70 приведен химический состав силикомарганца.

Таблица 70

Химический состав силикомарганца

Марка	СМн10	СМн17	СМн26
Содержание Mn, %	65	65	60
Содержание Si, %	10	17	26

Кроме отмеченных ферросплавов для легирования чугуна и стали применяют:

- **ферровольфрам**, содержание вольфрама не менее 65 %. (например, ФВ80);
- **ферромolibден**, содержание молибдена указывается в марке, например, ФМо60;

- **феррофосфор**. Помимо железа содержится фосфор в количестве, которое указано в марке, например, ФФ14. Применяется для выплавки фосфористых чугунов;

- **феррованадий**. Содержание ванадия равно 85 % в металле марок Вд35А, Вд35Б, Вд350. Феррованадий является дефицитным и дорогостоящим ферросплавом, и его следует применять только для выплавки низкокремнистых чугунов с высоким (более 5 %) содержанием ванадия. Для выплавки серого чугуна с содержанием кремния более 1 % следует использовать силикованадий. Для выплавки чугуна с содержанием ванадия более или равного 0,2 % могут быть использованы доменные ванадиевые чугуны, содержащие порядка 0,5 % ванадия. При выплавке чугуна в дуговых электропечах можно использовать материалы, содержащие оксиды ванадия;

- **ферробор**. Содержание бора от 6 до 20 %, что отражено в марках ФБ6, ..., ФБ20.

### **3.13.ВТОРИЧНЫЕ И ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЕ ШИХТОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ**

Лом составляет значительную часть состава шихты. В соответствии с ГОСТом лом делится на 2 категории вторичных черных металлов: А - углеродистые и Б - легированные.

Для выплавки ковкого и высокопрочного чугуна применяют углеродистые стальные отходы категории А, для серого чугуна - лом категории Б.

В зависимости от физического состояния и показателей качества различают 21 вид кусковых (габаритных и негабаритных), прессованных (брикетированных и пакетированных) ломов, отходов и стружки (табл. 71).

Таблица 71

Вторичные черные металлы, используемые в качестве металлической шихты  
в плавильных агрегатах в литейных цехах

Категория	Вид	Номер вида	Общее обозначение	Плавильный агрегат
Стальные лом и отходы				
А, Б	Стальной лом и отходы №1	1	1А, 1Б	ДСП, ИСТ, В
А, Б	Стальной лом и отходы №2	2	2А, 2Б	ДСП
А, Б	Шихтовые слитки	4	4А, 4Б	ДСП
А, Б	Брикеты из стальной стружки	7	7А, 7Б	ДСП, В
А, Б	Пакеты №1	8	8А, 8Б	ДСП
А, Б	Пакеты №2	9	9А, 9Б	ДСП
А	Пакеты №3	10	10А	ДСП
А	Стальная стружка № 1	13	13А	ДСП, ИСТ, ИЧТ
Чугунные лом и отходы				
А, Б	Чугунные лом и отходы №1	16	16А, 16Б	ИЧТ, В
А	Чугунные лом и отходы №2	17	17А	ИЧТ, В
А	Брикеты из чугуновой стружки	20	20А	В
А, Б	Чугунная стружка	21	21А, 21Б	ДСП, ИЧТ

Например, 16А - чугуновый лом и отходы для вагранок представляют собой куски машинного литья, поддоны, изложницы, прокатные валки, куски чугуна с повышенным содержанием фосфора (печное, посудное, художественное литье), куски ковкого чугуна, чугуныетрубы, скрап литейный. Не допускается наличие цветных металлов.

К важнейшим физическим свойствам шихтовых материалов, влияющим на производительность печи, величину угара металла, удельный расход энергии на плавку, относятся плотность ( $\rho$ ), насыпная

плотность ( $\rho_{\text{нас}}$ ), удельная поверхность (Б), температура плавления компонентов шихты ( $T_{\text{пл}}$ ) (табл. 72).

Таблица 72

Физические характеристики важнейших шихтовых материалов

Шихтовой материал	Свойства шихтовых материалов			
	$\rho$ , т/м <sup>3</sup>	$\rho_{\text{нас}}$ , т/м <sup>3</sup>	S, м <sup>2</sup> /т	$T_{\text{пл}}$ °С
Чугун чушковый	7,0-7,3	3,0-3,5	7,4-13	1150-1250
Лом чугунный	7,0-7,6	1,5-2,5	5-20	1200-1400
Стружка чугунная (россыпь)	7,0-7,6	1,0-2,2	140-160	1200-1400
Стружка чугунная (брикеты)	7,0-7,6	2,0-5,0	50-100	1200-1400
Лом стальной	7,5-8,0	0,5-2,0	5-14	1400-1550
Лом стальной (стружка):	7,5-8,0	1,8-2,0	140-160	1400-1550
дробленная брикетированная	7,5-8,0	2,0-5,0	50-100	1400-1550
Алюминий и его сплавы в чушках	2,5-2,7	1,0-1,5	14-25	590-665
Лом алюминия и его сплавов	2,55-2,7	0,5-1,5	10-40	590-665
Магний и его сплавы в чушках	1,74-1,85	0,7-1,0	20-50	590-650
Медь и медные сплавы в чушках	7,80-8,95	5,0	7,4-13	900-1150
Лом меди и ее сплавов	7,80-8,95	1,3-3,0	5-20	900-1150

Вспомогательные шихтовые материалы - топливо, флюсы, специальные добавки.

**Топливо.** Для плавки литейных сплавов используют твердое, жидкое и газообразное топливо.

При выплавке чугуна в вагранке применяется **кокс литейный каменноугольный**. Его получают сухой перегонкой (нагревом без доступа воздуха) коксующихся каменных углей. Калорийность кокса составляет примерно 7000-7500 ккал/кг. В процессе перегонки из угля выделяются летучие вещества - коксовый газ, а также смолы, аммиак, бензол. В

результате получаются куски пористого вещества, насыпная масса которого около 0,5 т/м<sup>3</sup>. Горючей составляющей кокса является углерод, содержание которого в коксе составляет примерно 90 %. По содержанию (серы) различают три марки кокса (табл. 73).

Таблица 73

Характеристика каменноугольного кокса

Марка	КЛ1	КЛ2	КЛ3
Содержание серы, %	0,6	1	1,4
Предельная зольность, %	12	11	12

Качество кокса характеризуется: реакционной способностью, содержанием углерода, серы, золы, кусковатостью и прочностью. Очень важен средний размер кусков и зольность. Для кокса всех трех марок установлены пять классов по размеру кусков: 80 мм и более, 40 мм и более, 60-80 мм и 40-60 мм. Высокая зольность снижает теплотворную способность кокса и КПД вагранки. Каждые 10 мм уменьшения диаметра кусков кокса приводят к снижению температуры металла на 15 град. Используется кокс в доменных печах, вагранках и иногда в качестве карбюризатора.

Мазут и природный газ используются при выплавке чугуна в пламенных печах.

**Мазут** является продуктом переработки нефти, который остается после удаления из нее моторных топлив. Горючими составляющими мазута являются углерод (80-87 %) и водород (11-13 %). Калорийность мазута около 10000 ккал/кг. Содержание серы в малосернистом мазуте - до 0,5 %; в сернистом - до 2 %; в высокосернистом - до 3,5 %.

*Природный газ* характеризуется калорийностью 8000-11000 ккал/м<sup>3</sup>. Метан - основное вещество природного газа (77-98 %), кроме него содержатся этан, пропан, бутан и тяжелые углеводороды.

*Флюсы* применяют для наведения шлака при выплавке чугуна и стали, защиты поверхности расплава от окисления, для удаления из расплава вредных примесей. При плавке чугуна и стали в качестве флюса широко используют известняк, основу которого (до 90 %) составляет карбид кальция (CaCO<sub>3</sub>). При нагреве (около 970 °С) известняк распадается с образованием извести CaO и двуокиси углерода CO<sub>2</sub>. В зависимости от содержания извести известняк делится на 3 сорта: 1 - 52 % CaO, 2 - 50 % CaO, 3 - 49 % CaO. Размер кусков 25-100 мм.

Для плавки чугуна вместо известняка можно использовать мел, который по своему составу близок известняку и свежееобожженую известь (содержащую 88-93 % CaO).

*Специальные добавки* вводятся в печь при плавке для корректировки химического состава чугуна, либо для улучшения свойств шлака. Например, при выплавке чугуна в электрических печах с использованием в шихте большого количества стальных отходов науглероживание расплава производят добавкой в шихту углеродосодержащих материалов - карбюризаторов. В качестве карбюризаторов используют кокс, каменный уголь, электродный бой и графитизированный порошок. Из-за низкого содержания серы его используют в основном для выплавки низкосернистого высокопрочного модифицированного чугуна. Для серого чугуна можно использовать прокаленную коксовую мелочь.

### **3.14. ПЛАВКА ЧУГУНА В КОКСОВЫХ ВАГРАНКАХ**

#### **Классификация вагранок**

В настоящее время для получения чугуна применяют вагранки, дуговые и индукционные электропечи и пламенные печи.

**Вагранка**- плавильная печь шахтного типа непрерывного действия, работающая по принципу противотока. Снизу вверх поднимается поток горячих газов, образующихся в результате горения кокса, навстречу ему опускается поток шихты. В результате теплообмена между этими потоками металлическая шихта прогревается, плавится, а получившийся жидкий металл перегревается выше температуры ликвидуса.

Все имеющиеся виды вагранок классифицируют следующим образом:

- по степени очистки газов: открытые (только грубая очистка от крупных частиц); полузакрытые (очистке подлежит только часть газов); закрытые (все газы). В любых случаях, перед выбросом в атмосферу, газы должны быть очищены от СО. Тепло отходящих газов используется для подогрева дутья;
- по теплотехническим особенностям: без подогрева и с подогревом дутья (с помощью рекуператоров и различных воздухонагревателей);
- по типу применяемого топлива: коксовые, коксогазовые и газовые;
- по наличию копильника для жидкого чугуна: без копильника и с копильником (стационарные - в цехах для крупного и тяжелого литья и поворотные);
- по длительности межремонтного цикла: до 24 ч (поливные), до 80 ч и более 80 ч. Вагранки с длительностью межремонтного цикла до и более 80 ч имеют водяное охлаждение плавильного пояса и водоохлаждаемые фурмы;
- вагранки с кислым и основным процессами плавки.

### ***Выплавка чугуна в коксовых вагранках***

Общий вид коксовой вагранки показан на рис. 137



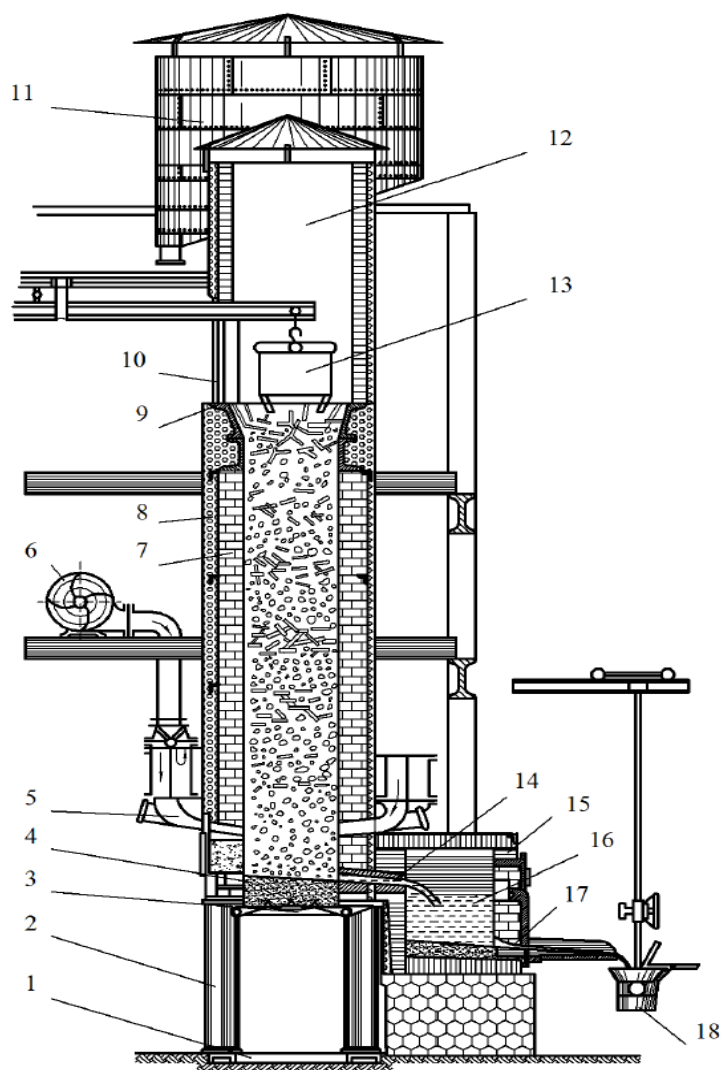


Рис. 137. Схема устройства вагранки: 1 - фундамент; 2 - колонны; 3 - подовая плита; 4 - под (лещадь); 5 - фурмы; 6 - вентилятор; 7 - футеровка; 8 - кожух; 9 - плиты колошника; 10 - загрузочное окно; 11 - искрогаситель; 12 - шахта; 13 - бадья; 14 - чугунная летка; 15 - копильник; 16 - жидкий чугун; 17 - выпускная летка копильника; 18 - ковш раздаточный

Цилиндрический кожух из листового железа толщиной 6-10 мм опирается на подовую плиту 3, и колонны 2. В подовой плите имеется люк (крышка), через него после остановки вагранки удаляют шлак, остатки кокса, частицы обрушившейся футеровки.

Изнутри кожух футеруют обычно шамотным кирпичом и шамотной набивной массой. Толщина футеровки 125-300 мм. После футеровки стенок и закрытия люка, специальной массой набивают подину под уклоном 6-8 °С в сторону чугунной летки.

Воздух для горения кокса подается вентилятором в фурменный коллектор под давлением  $P = (0,5-1)10^4$  Па, а из него в фурмы. Горн занимает пространство от уровня нижнего ряда фурм до подины. Шахта вагранки может иметь цилиндрический, конический или сложный профиль.

Наибольшее распространение получили вагранки с цилиндрической шахтой, т.к. они наиболее просты для изготовления и ремонта футеровки, но имеют недостатки: неравномерность распределения газов по сечению шахты; большой разгар футеровки в зоне фурм; меньшая производительность; дополнительный расход кокса.

Для улучшения распределения газов по сечению шахты и увеличения ее объема в зоне нагрева, увеличивают диаметр шахты выше фурм.

Еще лучшее распределение газов по сечению шахты и уменьшение разгара футеровки достигается при создании шахты с сужением в верхней ее части, под загрузочным окном. Однако, эти мероприятия возможны только для вагранки с холодным дутьем и продолжительностью межремонтного цикла до одних суток.

При подогреве дутья температура горения кокса превышает огнеупорность шамотного кирпича, поэтому вагранки, работающие с подогревом дутья, имеют водоохлаждаемые шахты по всей высоте или в нижней ее половине.

Водоохлаждаемые вагранки чаще всего имеют доменный профиль (конический), создаваемый небольшой конусностью водоохлаждаемого корпуса и утолщенную футеровку горна. Это увеличивает срок эксплуатации без ремонта, способность к равномерному распределению газов, повышает температуру металла.

Через рабочее окно загружают шихту, материал, топливо, флюс.

Продолжением шахты является дымовая труба вагранки, заканчивающаяся расширяющейся частью искрогасителем (искроулавливателем - для улавливания мельчайших твердых частиц, выносимых отходящими газами).

Высота вагранки от подовой плиты до загрузочного окна зависит от диаметра ( $d$ ) шахты (для малых вагранок высота равна  $6d$ , для больших -  $4d$ , где  $d = 850-2650$  мм).

Загрузка шихты в вагранку производится подъемно-транспортными устройствами периодического или непрерывного действия. В бадью или ковш сразу загружаются, как правило, все компоненты шихты: металл, кокс, флюсы, ферросплавы и другие добавки. Для загрузки такой колоши в вагранку применяются монорельсовые тележки в сочетании с шахтными подъемниками, наклонные подъемники с дистанционным или автоматическим управлением, пластинчатые и подвесные конвейеры. Наиболее распространена система загрузки шихты с помощью наклонного подъемника.

Основные операции плавки чугуна в коксовых вагранках: подготовка вагранки к плавке; розжиг холостой колоши; загрузка шихтовых материалов; плавка; остановка вагранки.

Обычно в плавильном отделении стоят две вагранки (работают по очереди через сутки).

**Подготовка вагранки к плавке** - это, в основном, ремонт футеровки:

- **капитальный** (замена всей футеровки);
- **средний** (только в зоне плавления, фурм, летки, т.е. в зонах со значительным разрушением);
- **текущий** (после каждой плавки).

Продолжительность работы вагранки без водяного охлаждения составляет 8-20 ч, с водяным охлаждением - до 1-2 мес.

Капитальный ремонт шахты вагранки выше зоны плавления до загрузочного окна выполняется не чаще одного раза в квартал, при этом удаляется внутренний ряд футеровки. Кладку выполняют шамотным кирпичом на жидком растворе ремонтной глины. Продолжительность сушки на воздухе - не менее 24 ч. После капитального ремонта розжиг вагранки требуется проводить на 0,5-1,0 ч дольше, чем после текущего ремонта, загрузив дополнительное количество кокса.

Текущий ремонт шахты вагранки в плавильном поясе производят после каждой выбивки вагранки. При этом сначала удаляют шлак, прогоревшие кирпичи и настывы, но сохраняют ошлакованную поверхность шахты. Текущий ремонт зоны фурм и горна вагранки выполняется после каждой выбивки. При ежедневной выбивке вагранок после одной или двух смен работы они футеруются слоем толщиной более 180 мм, также как и плавильный пояс. При работе без выбивки в течение недели и более горн выкладывается высокоглиноземистым кирпичом от подины до уровня фурм. Зона фурм при доменном профиле набивается шамотной или графитовой массой. После ремонта, особенно среднего и капитального, необходимо просушить футеровку газовыми горелками.

Подготовка вагранки к плавке заключается также в проверке исправности всех узлов и систем, обеспечивающих ее эксплуатацию. Особое внимание обращают на прочность крепления и исправность днища вагранки, фурм, устройств для набора, взвешивания и загрузки шихты.

***Розжиг холостой колоши*** в открытых вагранках происходит за счет естественной тяги трубы. Загрузка кокса производится частями в 2-3 приема. Розжиг холостой колоши проводят чаще всего природным газом, а в случае его отсутствия дровами. После того, как кокс у рабочего окна разгорелся, горелки поочередно переставляют в фурмы, следуя за равномерностью розжига кокса холостой колоши по сечению. После розжига 1-ой части загружаются последующие порции холостой колоши. Розжиг завершается продувкой

холостой колоши и замером ее высоты. Уровень холодной колоши на 1200-1500 мм выше фурм независимо от диаметра вагранки и применяемого давления дутья. Розжиг продолжается 3-4 ч.

В закрытых вагранках розжиг осуществляется также как и в открытых, или же за счет принудительной тяги через систему газоочистки. Для холодной колоши используют крупный кокс. После того как весь кокс холодной колоши разгорится, ведут загрузку рабочих колош (металлошихта, топливо, флюс).

**Загрузка шихтовых материалов.** Загружают металлошихту и топливо в соотношении 1:10 (например, 900 кг металлошихты и 90 кг кокса). Недостаток кокса в рабочей колоше приводит к снижению верхнего уровня холодной колоши (это снижает температуру чугуна). Избыток кокса в рабочих колошах поднимет верхний уровень холодной колоши (замедляется плавка).

На рабочую колошу кокса дают флюс 2-3 % от массы металлозавалки. Ход плавки зависит также от количества воздуха, подаваемого в вагранку. Норма составляет 100-130 м<sup>3</sup>/м<sup>2</sup> мин (м<sup>3</sup>/мин на 1 м<sup>2</sup> площади свободного поперечного сечения вагранки). С уменьшением содержания углерода в чугуне, подача воздуха должна расти.

При плавке контролируют: количество подаваемого воздуха, его давление; температуру чугуна; необходимо соблюдать правильность взвешивания и загрузки шихты; не допускать зависания шихты в шахте вагранки или ее опускание более чем на высоту равную высоте двух колош ниже завалочного окна.

### **3.15. ПЛАВКА В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ДУГОВЫХ ПЕЧАХ**

#### **Конструкции дуговых электропечей**

В чугунолитейном производстве и при выплавке стали используются одинаковые по конструкции трехфазные дуговые печи емкостью от 0,5 до 75 т. Печи этого типа, выпускаемые отечественной промышленностью,

маркируются буквенным шифром ДСП, что означает «дуговая сталеплавильная печь», далее после тире указывается номинальная емкость печи в тоннах. Например, ДСП-12, ДСП-50 и т.д.

Через свод 1 печи (рис. 138) проходят три графитовых электрода 2, расположенные равномерно вокруг вертикально оси печи. Между каждой парой электродов горит дуга прямого действия, замыкающаяся через металл. Печи имеют автоматическую систему перемещения электродов, поддерживающую заданную длину дуги в каждой из фаз. Электроды диаметром до 550 мм и длиной 1000-1800 мм имеют резьбовые отверстия в торцах. По мере сгорания нижних частей электродов, их наращивают, для чего в верхнюю часть работающего электрода ввинчивают соединительный графитовый ниппель, а на него навинчивают новый электрод. Температура дуги (около 6000 °С) определяет важнейшие достоинства и недостатки печи. Загрузку печей малой емкости ведут через рабочее окно.

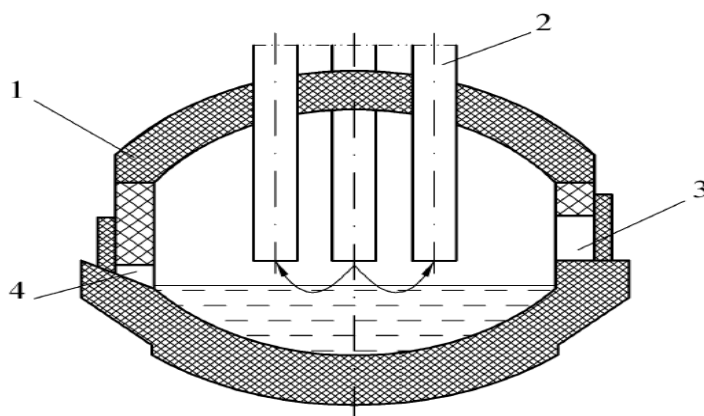


Рис. 138. Схема трехфазной ДСП: 1 - свод;  
2 - электроды; 3 - рабочее окно; 4 - выпускное окно

Печи большой емкости загружают сверху, для чего свод приподнимается и поворачивается в сторону. Для слива шлака печь наклоняют в сторону рабочего окна, а для выпуска металла - в сторону выпускного отверстия 4. Футеровка печей может быть как кислой, так и основной.

Футеровка свода выдерживает не более 200 плавов. Это объясняется тем, что на протяжении всей плавки именно свод испытывает непосредственное воздействие излучения дуги, тогда как под печи подвержен воздействию дуги в значительно меньшей степени. Стойкость футеровки пода дуговой печи при качественной его подварке перед каждой плавкой достигает 5000 плавов. Поэтому рядом с действующей ДСП обычно держат запасной свод.

Дуговая электропечь прямого действия является плавильным, агрегатом, в котором, как и в индукционных печах, можно получать самые разнообразные по составу чугуны. Преимущества ДСП, по сравнению с индукционной печью, заключаются в высоком КПД. При расплавлении (80-85 %); в возможности проведения металлургических процессов в восстановительной и нейтральной атмосферах, что часто необходимо для ВЧШГ; в осуществлении быстрого подъема температуры; в большей производительности (на 23-30 %) и меньшей стоимости при одинаковой емкости. Недостатки: более низкий КПД при перегреве (не более 20 %); значительное выделение дыма и шум во время работы; большой угар; большая неравномерность температуры металла. Характеристика дуговых электропечей приведена в табл. 74.

Для выплавки металла с целью получения отливок из специальных легированных чугунов и высокопрочного чугуна с шаровидным графитом ДСП является весьма выгодным плавильным агрегатом. Они все больше используются в монопроцессах, но все же отстают в этом отношении от ИЧГ. Все они имеют реверсивную систему подъема и поворота свода для открывания печей под загрузку через верх. Все ДСП имеют современную систему автоматического перемещения электродов; при этом у всех печей, эта система выполнена электрогидравлической.

Печи емкостью более 25 т оборудуются устройствами для электромагнитного перемешивания металла и имеют механизмы вращения ванны. На всех печах применены усовершенствованные электродные уплотнения.

## Характеристика дуговых печей

Параметры	Тип печи			
	ДСП-6Н2	ДСП-12Н2	6ДСП-25	ДСП-50Н2
Номинальная емкость, т	6	12	25	50
Мощность печного трансформатора, кВт	4000	9000	15000	25000
Высокое напряжение печного трансформатора, кВт	6 или 10	6 или 10	35	35
Низкое напряжение, В	116,5	115	126	131
Максимальный линейный ток, А	9950	16370	23550	34600
Диаметр кожуха (на уровне откосов), мм	3350	4260	4700	5800
Диаметр графитированного электрода, мм	300	350	400	500
Ход электрода, мм	2000	2250	2500	3500
Скорость перемещения электродов вверх, м/мин	5,0	5,0	3,5	3,5
Габаритные размеры (длина, ширина, высота), мм	7460 x7620 x7425	8560 x9460 x11200	9865 x11000 x12850	15545 x10375 x17775
Масса металлоконструкций, т	50	90	168	276

Удельный расход электроэнергии на расплавление твердой завадки в ДСП составляет 400-500 кВтч/т при кислом процессе, при основном 450-600 кВтч/т, а на перегрев жидкого металла на 100 °С расходуется 50-100 кВтч/т. При подогреве шихты до 650-700 °С расход электроэнергии сокращается на 100-120 кВтч/т [7, 9].



Применяется, как правило, кислая футеровка печей, т.к. при использовании сравнительно чистых материалов чаще всего нет нужды в основных печах. Устройство кислой футеровки включает в себя слой асбеста; набивной слой из кварцевого песка на жидком стекле; слой шамотного кирпича; слой динасового кирпича и слой порошка шамота или диатомита, материалы для футеровки приведены в табл. 75.

Таблица 75

Огнеупорные материалы для футеровки печей

Элементы печи	Кислая печь	Основная печь
Свод	Динасовый фасонный или нормальный кирпич	
Арки	То же	
Стены	Динасовый фасонный или нормальный кирпич	Магнезитовый фасонный или нормальный кирпич
Столбики	То же	То же
Под	Кладка - динасовый кирпич. Подина - набивная из кварцевого песка на жидком стекле	Кладка - магнезитовый кирпич. Подина - набивная из магнезитового порошка на жидком стекле
Тепло- изоляция	Шамот и асбест или диатомит	

После окончания кладки стен, набивки подины и откосов печь накрывают сводом и приступают к сушке и проварке подины и откосов. При хорошей организации ремонта рабочего слоя подины ее стойкость практически не зависит от емкости печи. Подины ДСП служат от одного капитального ремонта до другого, который, чаще всего, планируется в связи с необходимостью ремонта электрического и механического оборудования.

Стойкость подины для кислых и основных печей, как правило, не лимитирует работу печи и на отечественных заводах обычно равна от 1500 до 5000 плавов. Стойкость стен и свода кислых печей 150-200 плавов, а основных - 100-150. Одним из важных моментов ухода за подиной и откосами являются тщательный осмотр их после выпуска плавки, очистка от остатков шлака и металла с последующей быстрой заправкой поврежденных участков футеровки. Заправку поврежденных мест производят смесью кварцевого песка с жидким стеклом (количество жидкого стекла 14 % от массы песка). Смесью перед забрасыванием в печь тщательно перелопачивают. Заброску заправочной смеси на подину и откосы у летки производят обычной лопатой, а на откосы со стороны рабочего окна - заправочной ложкой. При обнаружении ямы на подине главное внимание уделяют очистке ямы от металла и шлака и ее просушке. После чего яму заправляют песком или смесью песка с жидким стеклом. Перед загрузкой шихты заправленное место на подине прикрывают листовым железом, чтобы предохранить его от повреждения. Заправка поврежденных мест подины и откосов основной печи производится сухим или смоченным жидким стеклом магнезитовым порошком, просеянным через сито с ячейкой размером 2 мм, слоями толщиной не более 10-12 мм. Период заправки и загрузки шихты должен быть минимальным по времени с целью сокращения тепловых потерь и обеспечения быстрого прогрева шихты.

#### ***Технология плавки в дуговых электропечах.***

Общая продолжительность плавки в дуговой печи ДСП-6 составляет примерно 137 мин, в т.ч.:

- заправка печи - 10 мин;
- загрузка шихты - 10 мин;
- плавление - 80 мин;
- доводка до химического состава и температуры - 30 мин;
- выпуск - 7 мин.

Шихтовые материалы, применяемые для плавки, должны быть обязательно сухими и соответствовать требованиям действующих технических условий и ГОСТов. Требования к шихте определяются типом изготавливаемых отливок, т.е. чем выше марка выплавляемого чугуна, тем строже требования, в особенности для высокопрочного чугуна с шаровидной формой графита. При плавке в кислых печах строго ограничивается содержание серы в шихте.

Для выплавки в кислой печи высокопрочного чугуна с шаровидным графитом, а также легированных чугунов с пластинчатым графитом рекомендуется применять рафинированный чугун. В случае плавки высокопрочного чугуна с шаровидным графитом в кислой печи это позволяет получить содержание серы не более 0,008 %, сократить продолжительность плавки на 50 мин и повысить производительность печи на 30-40 % по сравнению с работой на обычном доменном чугуне с десульфурацией металла в основной печи. При этом футеровка дешевле и более термостойка, уменьшается расход магния при модифицировании и снижается содержание серы. При плавке серого чугуна это обеспечивает повышение свойств отливок, в т.ч. герметичность.

Укладка шихты в печи для обеспечения устойчивости вольтовой дуги должна быть компактной. Вначале на подину загружают 50 % мелкой шихты, возврат собственного производства или машинный чугунный лом, затем - чушковые чугуны, потом - стальной лом, а сверху - оставшуюся мелочь. Крупные куски шихты следует заваливать в центр печи под электроды. Это обеспечивает заполнение мелочью промежутков между крупными кусками шихты и выравнивание электрического сопротивления шихты, а значит, и более стойкое и равномерное горение дуги, ускоряет расплавление шихты и увеличивает стойкость подины.

Вместе с этой шихтой в завалку вводят основную часть никеля и кобальта, т.к. они практически не окисляются, и доводят их содержание до заданных пределов в процессе плавки. Ранняя присадка никеля имеет опреде-

ленные преимущества в виду того, что электролитический никель содержит водород, а большая часть газа выделяется в процессе плавления и доводки металла. Точно так же и ферромolibден можно вводить в завалку или в жидкую ванну. Если молибден применяется в виде молибдата кальция, то его лучше присаживать на зеркало металла после скачивания шлака; при такой присадке он усваивается без потерь. При выплавке марок чугуна, содержащих фосфор, феррофосфор необходимо вводить в начальный период плавки; он усваивается без угара.

Плавка на твердой шихте производится для выплавки как обычного, так и синтетического чугуна. Процесс плавки синтетического чугуна более длительный в сравнении с обычным и поэтому несколько менее производительный; в связи с этим расход электроэнергии повышается на 150-200 кВтч/т.

Плавление шихты ведется при максимальном использовании мощности трансформатора. При появлении жидкого чугуна приступают к наводке шлака - в кислой печи это выполняют путем присадки в печь сухого кварцевого песка, горелой смеси или 50 % свежего песка и 50 % горелой смеси. Для разжижения шлака применяют известняк или известь.

В основную печь вводится известь или известняк для повышения основности шлака (часть известняка загружается перед загрузкой металлической шихты). Шлак должен быть жидкоподвижным, т.к. при густом шлаке затрудняются процессы нагрева и диффузии в металл. Для разжижения шлака в основной печи применяется плавиковый шпат. Слишком жидкий шлак исправляют добавками извести или известняка. Расход известняка в процессе плавления для основных печей составляет 3 % от шихты. Когда часть металла или весь металл находится в расплавленном состоянии, недопустима подача в печь влажных материалов. Все присадочные материалы в жидкий металл даются предварительно просушенными и прокаленными в кусках до 100 мм. При расплавлении 30-40 % шихты периодически производится

сталкивание с откосов нерасплавленной шихты в центр ванны жидкого чугуна. Процесс расплавления проводится форсированно.

За 10-15 мин до полного расплавления, во избежание перегрева и оплавления стен свода печи, необходимо сокращать подводимую мощность печи. После полного расплавления шихты ванна тщательно перемешивается, и берется проба для экспресс-анализа на содержание Cr, Mn, Ni, Mo. Перемешивание необходимо производить не только после расплавления, но и после присадок по ходу процесса и перед выпуском плавки. При ведении плавки в кислой печи следует присаживать известь (или известняк) в зависимости от консистенции шлака, добиваясь достаточной его подвижности. Присадку ферросилиция в печь можно производить в любое время плавки, т.к. угара Si в кислой печи не происходит. Феррохром вводят в печь только при хорошо нагретом чугуне и нормальном неокисленном шлаке.

В основных печах окисляется кремний; угар его составляет 10-15 %. Угар титана как в кислой, так и в основной печи - 45-50 %. Угаром C, Cr, Ni, Mo, Cu, P как при кислом, так и при основном процессе можно пренебречь. В обоих процессах практически отсутствует пригар при перегреве. При плавке синтетического чугуна угар элементов такой же, как при обычной плавке. Титан легко окисляется как в кислой, так и в основной печи, и поэтому ферротитан вводят в ванну перед выпуском плавки из печи; его угар доходит до 50 %. Ферротитан имеет меньшую плотность по сравнению с жидким чугуном и плавает на поверхности. Для лучшего усвоения титана куски сплава необходимо топить в ванне железными штангами. Содержание окислов в кислом шлаке находится в пределах, %: 60-70 SiO<sub>2</sub>; 3-20 CaO; 1-5 MgO; 6-12 FeO; 1,2-5 MnO; 0,25-4 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

Шлак с высоким содержанием SiO<sub>2</sub> очень вязок, неактивен. Добавка известняка резко снижает температуру плавления, и он делается жидкотекучим, активным. Оптимальным содержанием CaO для кислых шлаков считают 6-8 %. Основные ДСП применяются для плавки

синтетического чугуна и ВЧШГ с содержанием серы 0,008-0,02 %. Основной процесс, в отличие от кислого, имеет восстановительный или раскислительный период, который проводится обычно под карбидным и белым шлаками. В этом периоде происходит удаление кислорода и серы, корректируются химический состав и температура металла. При диффузионном способе раскисляющие вещества в виде древесного угля или электродного порошка вводят на поверхность шлака. В шлаке происходит восстановление FeO, восстанавливаются также MnO и Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Т.к. содержание FeO в шлаке низкое, то происходит диффузия кислорода к поверхности раздела металл-шлак и затем переход FeO из металла в шлак. Наведение карбидного шлака производится, когда температура расплавленного чугуна в печи достигнет примерно 1350 °С. При этом скачивают шлак и на зеркало металла задают известь (или известняк) и плавиковый шпат в соотношении 4 : 1 в количестве 4 % от массы садки. После того как эта смесь разойдется и образуется жидкоподвижный шлак, его раскисляют древесным углем или электродным порошком. Для образования CaC<sub>2</sub> требуется высокая температура и положительное давление в печи (устранение засасывания воздуха в печь). После введения раскислителей рабочее окно плотно закрывают, выпускное отверстие закладывают кирпичом, замазывают глиной и в течение 20-30 мин не открывают заслонку рабочего окна. При этих условиях в зоне действия электрических дуг начинается образование CaC<sub>2</sub>. Процесс протекает с большим поглощением тепла; поэтому для образования и сохранения хорошего карбидного шлака необходимы: высокая температура, высокая концентрация CaO и низкая концентрация FeO в шлаке, повышенное количество раскислителя. По ходу восстановительного периода, с целью компенсации окислительного действия воздуха и сохранения в печи восстановительных условий, периодически добавляют новые порции раскислителей, вследствие чего компенсируется окислительное действие воздуха, и восстанавливаются не только окислы

тяжелых металлов, но и некоторое количество окиси кальция, чему благоприятствует высокое содержание углерода в чугунах.

По истечении 30 мин после дачи раскислительной смеси берется проба; проверяются температура металла и его химический состав. При хорошем нагреве металла вводятся в печь необходимые присадки (ферросилиций, феррохром, ферромарганец и др.).

Карбидный шлак выдерживается не менее 50 мин до получения необходимого снижения содержания серы в металле, затем он переводится в белый шлак, т.к. иначе карбидный шлак, смачивая металл, может при заливке поступать в формы вместе с чугуном. Для этого окисляют содержащийся в шлаке  $\text{CaC}_2$  и находящийся во взвешенном состоянии графит. Признаком белого шлака может служить то, что он при охлаждении рассыпается в белый порошок. Для разбивки карбидного шлака добавляют в печь шамотный бой, известь или известняк, плавиковый шпат и открывают заслонку печи. Составы конечных шлаков восстановительного периода плавки приведены в табл. 76.

Таблица 76

Составы конечных шлаков

Тип шлака	Массовая доля составляющих, %								
	CaO + CaF <sub>2</sub>	SiO <sub>2</sub>	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	MnO	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaC <sub>2</sub>	CaS
Карбидный	60-70	10-15	7-10	2-3	0,5	0,5	0,5	1,5-3	2
Белый	60-65	15-20	7-10	2-3	0,5	0,5	0,5	0,5	1

После доведения состава чугуна до марочного и температуры до 1440-1540 °С (в зависимости от марки чугуна) производят выпуск металла.

Преимущества ДСП:

- форсированное расплавление;
- использование любых шихт материалов;

- широкая возможность для металлургической обработки расплава, шлаки имеют высокую активность благодаря нагреву от дуговых разрядов.

К недостаткам ДСП следует отнести высокий уровень шума; обильное выделение дыма; низкий КПД при перегреве; частый ремонт футеровки; большой расход электродов; большой угар элементов.

### 3.16. ПЛАВКА В ИНДУКЦИОННЫХ ПЕЧАХ

Работа индукционных тигельных печей (рис. 139) основана на принципе передачи энергии индукцией от первичной цепи к вторичной. Электрическая энергия переменного тока, подводимая к первичной цепи, превращается в электромагнитную энергию поля, которая во вторичной цепи переходит снова в электрическую, а затем в тепловую.

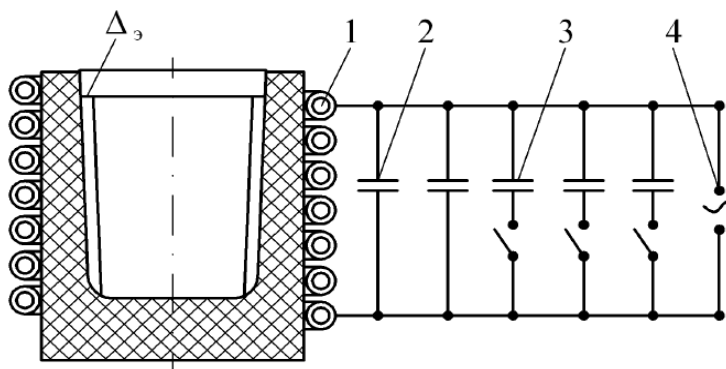


Рис. 139. Принципиальная схема индукционной тигельной печи:

1 - индуктор; 2, 3 - конденсаторы; 4 - источник питания

Переменный ток от источника питания 4, проходя по виткам индуктора 1, создает переменное электромагнитное поле. Электромагнитные волны проникают внутрь электропроводной загрузки тигля на глубину  $\Delta$ , (называемую *глубиной проникновения*) и возбуждают в поверхностном слое шихты переменный электрический ток, который и приводит к нагреву и плавлению металла. Та часть энергии электромагнитного поля, которая не была поглощена шихтой, взаимодействует с витками индуктора, индуцирует



в них реактивный ток. Этот ток направлен навстречу току источника питания и отстает от него по фазе на  $90^\circ$ . Таким образом, часть энергии, излучаемой индуктором в течение каждого периода (реактивная мощность), возвращается в него с опозданием по фазе на  $90^\circ$ . Эта реактивная мощность циркулирует между индуктором и источником питания.

Более экономичным следует считать моно- или дуплекс-процессы выплавки чугуна в индукционных печах. Для плавки чугуна промышленность выпускает в России большую гамму индукционных тигельных печей вместимостью от 1,0 до 60 тонн (табл. 77, рис. 140).

Таблица 77

Технические характеристики индукционных печей для получения чугуна

Тип плавильной печи	Вместимость печи, т	Мощность печи по трансформатору, кВт	Частота тока, Гц	Расчетная скорость плавки (перегрев на $100^\circ\text{C}$ ), т/ч
ИТЧ-1	1,0	400	50	0,6
ИТЧ-2,5	2,5	1000	50	1,7
ИТЧ-6,0	6,0	1600	50	2,7
ИТЧ-10	10,0	2500	50	2,4
ИТЧ-21	21,0	5600	50	11,3
ИГЧ-31	31,0	7100	50	14,2
ИТЧ-60	60,0	20000	50	33,6

Каркас индукционной тигельной печи 5 (рис.140) может поворачиваться вокруг оси 1 для слива металла под действием гидравлических цилиндров. Индуктор 3 опирается на магнитопроводы 4, представляющие собой пакеты трансформаторной стали. Магнитопроводы служат для замыкания внешнего

магнитного поля индуктора и позволяют, таким образом, избежать нагрева металлоконструкций, расположенных рядом с индуктором. Кроме того, они обеспечивают жесткость индуктору. Набивной из спекаемых огнеупорных

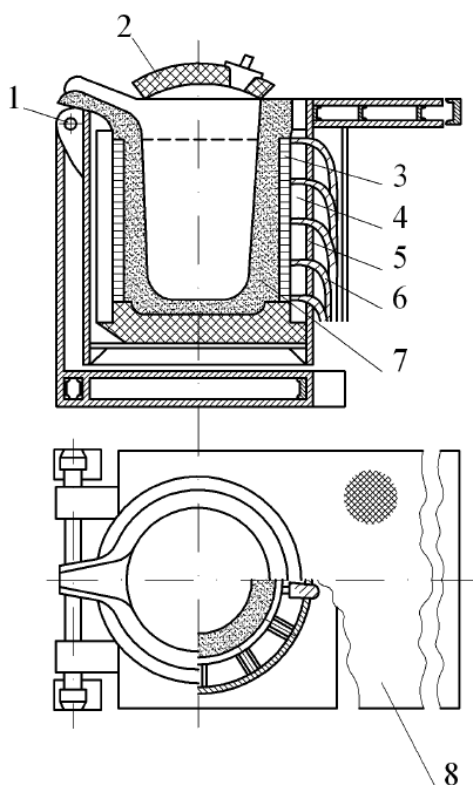


Рис. 140. Общий вид индукционной тигельной печи промышленной частоты

масс тигель 7 закрывается крышкой 2. Подводы воды и тока к индуктору осуществляются гибкими водоохлаждаемыми кабелями и шлангами 6. При замерах температуры, отборе проб вводе присадок плавильщик находится на рабочей площадке печи 8.

Индуктор печи промышленной частоты выполняется из медной неравностенной трубки, утолщенная часть которой обращена к оси индуктора.

Охлаждение индуктора обычно секционное. Каждая секция имеет свой вход и выход охлаждающей воды. Это обеспечивает необходимую пропускную способность при небольшом давлении охлаждающей воды.

Выплавка чугуна в индукционных тигельных печах связана с минимальными уга́рами элементов в процессе плавки, она обеспечивает получение качественного жидкого металла и высоких механических свойств отливок [6,9], позволяет использовать в шихте стальной лом и карбюризатор вместо литейных чушковых чугунов и дефицитного кокса. Индукционные печи меньше всего загрязняют окружающую среду как тепловыми, так и пылегазовыми выделениями. Они имеют достаточно высокий КПД, особенно при перегреве и доводке чугуна.

Высокий КПД в процессе расплавления шихты достигается за счет частичного опорожнения печи, так называемая плавка с «болотом», когда из печи сливается примерно одна треть жидкого металла, а на оставшуюся жидкую ванну присаживают твердую завалку. Индукционные печи поддаются автоматизации в связи с тем, что в них хорошо регулируются энергетический и материальный балансы плавки. Индукционные печи часто оборудуются системой автоматического взвешивания шихты. К недостаткам индукционных печей следует отнести: повышенный расход электроэнергии на плавку, более высокие капитальные затраты на строительство плавильного участка и большие потребности в площадях; ограничение подводимой удельной мощности на печах промышленной частоты из-за возможных выбросов металла за счет электромагнитных сил, периодичность выпуска металла, что особо важно при непрерывном потреблении жидкого металла на заливку форм.

Технология выплавки чугуна в индукционной печи достаточно проста и сводится к загрузке шихты, расплавлению, доводке и термовременной выдержке металла и последующего выпуска.

Интенсификация плавки чугуна в индукционных печах связана с предварительным подогревом металлошихты за счет газовых горелок, что ведет к сокращению расхода электроэнергии на плавку и, следовательно, к сокращению длительности плавки; с применением кислородных горелок, устанавли-

ваемых над ванной индукционной печи; с установлением оптимальной массы остатка жидкого металла в печи [6,9].

Канальные индукционные печи чаще всего используются в качестве вторичных агрегатов дуплекс-процесса - миксеров, их техническая характеристика приведена в табл. 78 [6].

Таблица 78

Технические характеристики индукционных канальных миксеров  
промышленной частоты для выдержки чугуна

Тип канального миксера	Вместимость, т	Мощность по трансформатору, кВт	Расчетная скорость перегрева на 100 К, т/ч
ИЧКМ -2,5	2,5	-	7
ИЧКМ -4	4	-	14
ИЧКМ -6	6	-	14
ИЧКМ -10	10	500 / 1000	29 / 58
ИЧКМ -16	16	500 / 1000	29 / 58
ИЧКМ -25	25	1000 / 2000	55 / 110
ИЧКМ -40	40	1000 / 2000	55 / 110
ИЧКМ -60	60	2000 / 4000	115 / 230
ИЧКМ -100	100	2000 / 4000	115 / 230

Индукционные печи, в том числе и канальные, имеют значительно меньшие металлургические возможности из-за присутствия в печи холодного шлака, нагреваемого за счет жидкого металла. ИЧКМ емкостью 10 т и более выпускаются в двух исполнениях по мощности трансформатора.

Более крупные индукционные канальные печи имеют два исполнения: шахтные и с цилиндрической барабанной ванной с расположением индукционных единиц под углом 45° к горизонту.

На рис. 141 [6] показан индукционный каналный миксер емкостью 40 т. Он предназначен для накопления металла, выплавляемого в плавильных печах, усреднения его химического состава и температуры (миксирования), обеспечения перегрева в случае необходимости до заданной температуры и выдачи в транспортные или заливочные ковши.

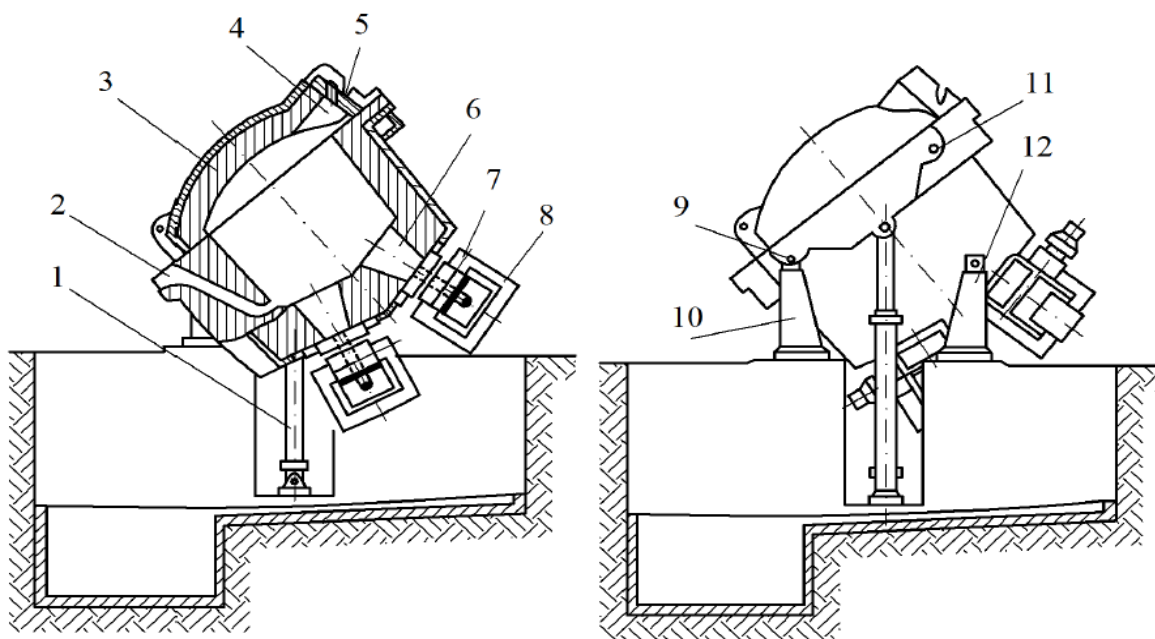


Рис. 141. Индукционный каналный миксер шахтного типа:

- 1 - гидроцилиндры; 2 - сифонный желоб; 3 - съемная крышка; 4 - окно; 5 - крышка окна; 6 - полость канала; 7 - индуктор; 8 - магнитопровод; 9, 11 - отверстия под ось для поворота печи; 10 - передняя стойка печи; 12 - задняя стойка

Рабочее пространство печи имеет цилиндрическую форму с вертикальной осью. Оно закрыто съемной футерованной крышкой 3. Такие печи называют печами шахтного типа. Печь имеет две съемных каналных единицы мощностью по 700 кВт каждая. Слив металла осуществляется через сифонный желоб 2, конструкция которого исключает попадание воздуха в печь и угар металла. Для заливки металла в миксер имеется второй сифонный желоб, расположенный на той же стенке печи (на схеме не показан). Шлак скачивают через окно 4, закрываемое крышкой 5, один раз в

две недели. За это время его накапливается около 40 кг. Печь наклоняют с помощью гидроцилиндров 1. Для слива металла печь поворачивают круг оси, вставленной в отверстие 9 корпуса печи передней стойки 10. При сливе шлака ось вставляется в отверстия 11 корпуса печи задней стойки 12. Каналы индукционных единиц сообщаются с ванной печи через полости 6. Каждая канальная единица имеет свой магнитопровод 8 и охлаждаемый воздухом индуктор 7.

Производительность индукционных канальных миксеров изменяется в очень широких пределах от 7 до 115 т/ч. В то же время удельная мощность канальных печей снижается с увеличением их вместимости, а расход электроэнергии находится в пределах 35-40 кВтч/т.

### **3.17. Плавка чугуна дуплекс-процессами**

Ваграночный чугун по своим свойствам все меньше удовлетворяет повышенным требованиям, предъявляемым к металлу и отливкам. Поэтому для улучшения его свойств в отечественной и зарубежной практике все шире используются дуплекс-процессы, связанные с получением жидкого чугуна в вагранках и последующей его доводкой и перегревом в электрических печах. При этом достигаются высокая производительность, хорошее качество и низкие энергетические затраты на процессы. Здесь возможно применение дуплекс-процессов: вагранка-дуговая электропечь, вагранка-индукционная тигельная печь и вагранка-индукционный канальный миксер.

В зарубежных странах в последние годы получил распространение дуплекс-процесс вагранка-индукционная канальная печь или индукционная тигельная печь. Индукционные печи применяются в качестве миксера. В этом случае для плавки чугуна используются высокопроизводительные, ваграночные комплексы большой единичной мощности (20 т/ч и более), в качестве металлошихты - дешевый стальной лом, соответствующим образом разделанный до необходимых габаритных размеров.

Полученный жидкий чугун переливается в индукционную печь (тигельную или каналный миксер). В случае использования в качестве вторичного агрегата индукционной тигельной печи имеются большие металлургические возможности по доводке жидкого металла до заданного химического состава путем разбавления расплава добавками относительно чистого по примесям стального лома (лучше всего низкоуглеродистая стальная обрезь) или соответствующего ферросплава. Наряду с этим в тигельной печи осуществляется необходимый перегрев металла до заданной температуры заливки чугуна. Такой дуплекс-процесс позволяет выплавлять металл как для получения рядовых марок чугуна типа СЧ15, СЧ20, так и ковкого, высокопрочного и специального легированного. Индукционная тигельная печь при этом выполняет роль миксера, где осуществляется стабилизация химического состава чугуна и выравнивание его температуры. Стабилизация содержания углерода и кремния при миксировании чугуна наступает при отношении к емкости миксера производительности вагранки (т/ч) более 2,0-2,5 [9]. Двойной запас емкости миксера благоприятно скажется и на улучшении организации труда во всем литейном цехе, т.к. обеспечивает бесперебойное снабжение жидким чугуном формовочно-заливочно-выбивного отделения, независимо от колебания производительности плавильного отделения.

Отличие в использовании индукционного каналного миксера в качестве вторичного агрегата при дуплекс-процессе состоит в том, что в этом случае резко снижаются металлургические возможности воздействия на металл. Агрегат лишь усредняет химический состав и обеспечивает поддержание температуры металла на определенном уровне. Колебания содержания элементов в готовом металле при этом снижаются по углероду до 0,04-0,05 %, кремнию до 0,10-0,12 %, по марганцу до 0,02-0,08 %, что значительно меньше, чем при ваграночной плавке.

Для того чтобы осуществить усреднение химического состава металла, в миксере должно оставаться значительное количество чугуна, поэтому полное

опорожнение его недопустимо. Процесс усреднения также требует определенного времени выдержки порций металла из вагранки без добавок, поэтому целесообразно иметь для обслуживания ваграночного комплекса два миксера, с попеременной работой каждого миксера то на наполнение, то на опорожнение.

Улучшение технико-экономических показателей таких дуплекс-процессов связано с сокращением потерь тепла во время перелива металла и выдержки его в миксере, использованием пониженной мощности трансформатора (она должна, в основном, компенсировать тепловые потери миксера и обеспечивать незначительный перегрев металла), полнотой использования отобранной порции чугуна (сокращение возврата чугуна для слива его в миксер) и др.

В современных цехах все чаще в качестве первичного плавильного агрегата используется электропечь-дуговая или индукционная. Вторичным агрегатом при дуплекс-процессе могут быть электропечи: дуговые, индукционные тигельные и каналные.

Дуплекс-процесс дуговая электрическая печь-дуговая электрическая печь применяют в корпусе серого и ковкого чугуна КАМАЗа [9]. Выплавку чугуна осуществляют в восьми ДСП-50, а в качестве печей выдержки используют девять ДСП-75. Такое сочетание обеспечивает бесперебойное снабжение корпуса жидким чугуном в объеме более 350 тыс.т. При этом производительность печи по плавке составляет 25 т/ч, а удельный расход электроэнергии 600 кВтч/т отливок. Такой дуплекс-процесс позволяет получать любые марки чугунов хорошего качества.

Дуплекс-процесс дуговая электропечь-индукционный каналный миксер или индукционная тигельная печь применяют в современных литейных цехах большой мощности; в качестве первичного агрегата для выплавки чугуна используют дуговые электропечи большой вместимости (25-30 т), на которых установлены трансформаторы высокой удельной мощности. В



качестве вторичного агрегата используют индукционные печи-канальный миксер для усреднения химического состава и корректировки температуры металла или индукционную тигельную печь для корректировки состава металла, ввода легирующих с целью получения чугунов различных марок. Такая схема дуплекс-процесса обеспечивает расход электроэнергии примерно на 15-20 % ниже по сравнению с плавкой в одной индукционной печи промышленной частоты. При этом в качестве шихты для плавки в дуговой печи можно использовать низкосортные металлические отходы, что тоже улучшает экономические показатели процесса.

Применение в качестве вторичного агрегата индукционной тигельной печи расширяет металлургические возможности воздействия на расплав аналогично процессам, рассмотренным при описании дуплекс-процесса вагранка-индукционная тигельная печь. Экономически более выгодным можно признать использование в качестве вторичного агрегата индукционного тигельного миксера, который имеет меньшую мощность трансформатора, что приводит к уменьшению капитальных затрат. В этих миксерах можно производить коррекцию химического состава чугуна и производить подогрев металла. Технические характеристики индукционных тигельных миксеров приведены в табл. 79.

Таблица 79

## Технические характеристики тигельных миксеров

Тип плавильного агрегата	Вместимость тигля, т	Мощность по транс- форматору, кВт	Расчетная скорость перегрева на 100 °К, т/ч
ИЧТМ-1	1	180	2,8
ИЧТМ-2,5	2,5	400	4,2
ИЧТМ-6	6	400	7,0
ИЧТМ-10	10	1000	17,0
ИЧТМ-16	16	1600	22,0

Преимущества данного дуплекс-процесса приводят к существенно лучшим техническим показателям плавки по сравнению с монопроцессом. Это видно из табл. 80, в которой приведены технико-экономические показатели плавки в ИЧТ-10 различными процессами.

Таблица 80

## Технико-экономические показатели различных способов получения литейного чугуна в печи ИЧТ-10

Показатели	Способ плавки		
	монопроцесс с «болотом»		дуплекс-процесс ДСП+ИЧТ
	по паспорту	по данным [19]	
Производительность печи, т/ч	4,2	4,0	5,8
Удельный расход электроэнергии, кВтч/т	548	750	150
Стойкость тигля, плавок, шт.	-	100-200	300-350
Угар элементов, %	-	5,6-7,8	2-4

### 3.18. Дефекты в чугунных отливках и способы их предотвращения и исправления

Чаще всего в литейной практике встречаются в отливках дефекты *усадочного* происхождения: концентрированные раковины, макро- и микропористость, утяжины. Они являются следствием изменения размеров, а значит и объема, т.е. так называемой усадки металла в процессе затвердевания отливки.

Общий объем усадочных дефектов определяется тремя величинами: термической усадкой жидкого металла, начиная с момента образования корки; фазовыми изменениями при затвердевании; изменением наружных размеров отливки в процессе кристаллизации, которое зависит от предусадочного расширения и жесткости (или податливости) формы.

В итоге влияния всех этих факторов формируется обычно усадочная раковина в том или ином объеме.

Предусадочное расширение является одним из важнейших факторов определяющих объем усадочных пустот, причем они оба зависят от многих факторов: фазовых превращений при кристаллизации, механизма, характера и количества выделяющегося графита, выделяющихся газов, температуры заливки ( $T_3$ ), металлостатического давления в форме, податливости формы и др.

Отрицательное влияние на усадку имеет увеличение толщины стенки отливки, металлостатического напора,  $T_3$ , хотя последний фактор иногда оказывает положительное влияние вследствие улучшения питания.

Уменьшить усадочные пустоты можно:

- правильным выбором химического состава и  $T_3$ ;
- уменьшением влажности форм;
- в наиболее неблагоприятных условиях, путем создания направленной кристаллизации отливки за счет установки холодильников и применением прибылей, что часто требует даже изменения конструкции отливки.

При этом следует иметь в виду, что во многих случаях особо большое значение, например, при требованиях высокой герметичности, приобретает пористость, для уменьшения которой необходимо измельчение графита, уменьшение интервала кристаллизации и создание направленной кристаллизации.

В этом случае измельчение эвтектического зерна и применение модифицирования могут оказаться уже вредными, поскольку кристаллизация сплава имеет при этом более объемный характер, а сопротивление движению расплава между срастающимися ветвями дендритов возрастает так, что в отдельных точках происходит затвердевание жидкого металла в условиях затрудненного, а иногда и полного отсутствия питания, вследствие чего возникают усадочные поры (раковины), часто взаимосвязанные и создающие таким образом сквозные микроканалы. Особенно вредно в этом отношении высокое содержание Р в металле, т.к. объем фосфидной эвтектики при ее затвердевании уменьшается и в результате образуются поры.

Дефекты, возникающие при взаимодействии металла с формой - это газовые раковины, ужимины и пригар.

**Газовые раковины** представляют собой округлые полости. Источниками газов в форме являются: воздух, механически замешанный потоком металла при заливке; воздух, заполняющий полость и поры формы; пары воды, выделяющиеся при заливке сырых форм; продукты сгорания или разложения органических добавок, вводимых в формовочные или стержневые смеси и др.

Борьба с газовыми раковинами должна вестись в направлении уменьшения давления газов на поверхности контакта металл - форма, т.е. нужно уменьшать газотворность смеси или увеличивать газопроницаемость формы. Для обеспечения низкой газотворности стержневой смеси следует применять связующие с малой газотворностью и высокой «удельной прочностью», т.е. обеспечивающие высокую прочность при минимальном количестве связую-

щего. Газопроницаемость стержня обеспечивается также соответствующей зернистостью песка и устройством вентиляционных каналов. Необходимо стремиться выводить вентиляционные каналы через верхние знаки. Чтобы предотвратить образование газовых раковин в результате химических реакций между расплавленным металлом и формой, необходимо снижать в стержнях (изготовленных в горячих ящиках) содержание азота в смоле, которое не должно превышать 8 % [11].

**Ужимины** возникают под действием теплоты металла, заливаемого в форму. Лицевой слой формы нагревается и при отсутствии свободы для расширения смеси, образующая корка отслаивается в полость формы, создавая ужимину. На образование ужимин оказывают влияние: коэффициенты линейного расширения составляющих смеси, степень уплотнения смеси и температура ее нагрева. Отслаиванию корки способствуют: неблагоприятная конфигурация формы, препятствующая расширению корки; повышенное давление газов в толще формы; повышенная исходная влажность формы и др.

В зависимости от конкретных условий производства, конфигурации отливки и особенностей технологического процесса борьба с ужиминами может вестись в следующих направлениях: уменьшение нагрева лицевого слоя формы более быстрой заливкой металла; подводом металла через несколько питателей, желательны в массивные части тела отливки; заливкой плоских отливок в вертикальном или наклонном положении; вентиляцией формы; по возможности неплотной набивкой формы; упрочнением смеси, т.е. улучшением сцепления лицевого слоя формы с основной массой смеси и др.

**Пригар** является наиболее распространенным поверхностным дефектом отливок. Основные причины пригара: проникновение жидкого металла в поры формы и химическое взаимодействие жидкоподвижных окислов металлов с компонентами формовочной смеси.

Наиболее распространенным способом предупреждения пригара является использование защитных покрытий, наносимых на поверхность литейной формы. Для увеличения их термостойкости применяют послойное нанесение двух - трех покрытий: для первого слоя используют краски с малой плотностью, а для последующих слоев - с большей плотностью. Для предупреждения пригара возможно также использование углеродосодержащих добавок, вводимых в формовочные смеси, под действием температуры металла они разлагаются и создают восстановительную атмосферу в форме, препятствующую окислению металла и взаимодействию его окислов с материалами формы.

### **3.19. Контроль качества чугунных отливок**

**Контроль размерной точности.** Контроль размерной точности является одним из основных показателей качества отливки. Размерная точность определяется степенью приближения истинных размеров отливки к размерам указанным на чертежах. В связи с малой линейной и объемной усадкой размерная точность чугунных отливок наиболее полно, чем у других сплавов приближается к размерам литейной модели, следовательно к истинным номинальным размерам чертежа. Номинальный размер - значение расстояния между базой и интересующей точкой поверхности. Для поверхностей, имеющих форму тела вращения, в качестве номинального размера используется номинальный диаметр.

**Контроль шероховатости поверхности отливки.** По мере повышения требований к качеству отливок и их товарному виду возрастает требование к качеству поверхности отливок.

**Шероховатостью** называют совокупность неровностей поверхности с относительно малыми шагами на базовой длине.

Качество поверхности отливок определяется большим числом факторов: зерновым составом формовочных материалов; дисперсностью огнеупорных

покрытий и красок;  $T_3$ ; скоростью кристаллизации габаритными размерами отливки и толщиной ее стенок; качеством поверхности модельной оснастки; способом литья.

Поверхность можно контролировать визуально (путем сравнения шероховатости контролируемой поверхности с эталоном) и ощупыванием профиля поверхности иглой с алмазным наконечником. Приборы, используемые для контроля шероховатости, подразделяют на оптические и контактные.

**Химические и физические методы контроля качества отливок.** При визуальном контроле, даже с использованием лупы, удается обнаружить только относительно грубые поверхностные или сквозные дефекты отливок. Для обнаружения более мелких несплошностей, тонких трещин или микропор используют различные химические, физические методы контроля.

**Капиллярный контроль.** Сущность всех методов капиллярного контроля состоит в том, что на очищенную поверхность отливки наносится тонкий слой индикаторной жидкости или суспензии (пенентрита), который под действием капиллярных сил проникает в мелкие поверхностные дефекты.

После выдержки, а при необходимости и тепловой сушки на поверхности изделия над дефектом образуется так называемый индикаторный след. Этот след можно наблюдать невооруженным глазом или с помощью лупы небольшого увеличения.

Обнаружение индикаторного следа, повторяющего характер дефекта, обусловлено либо его способностью люминесцировать под действием ультрафиолетового излучения, для чего используют источник ультрафиолетового излучения, либо цветовым контрастом в видимом световом излучении. По способу выявления дефектов наиболее широкое распространение нашли методы люминесцентной и цветовой дефектоскопии.

**Магнитный контроль.** Магнитный контроль основан на взаимодействии магнитного поля с материалом отливки, поэтому он может быть ис-

пользован только для контроля отливок и ферромагнитных сплавов (чугун, сталь).

Сущность методов магнитного контроля заключается в регистрации искажений магнитного поля, возникающих в местах наличия дефектов при намагничивании отливки, или изменения магнитных характеристик изделия, вследствие изменения фазового состава и структуры сплава.

Цели магнитного контроля:

- выявление поверхностных дефектов (магнитная дефектоскопия);
- оценка структуры и свойств сплавов (магнитная структуроскопия).

**Методы магнитной дефектоскопии.** Наибольшее распространение в литейной технологии находят распространение следующие методы магнитного контроля:

-магнитопорошковый метод - позволяет обнаружить поверхностные и подповерхностные дефекты на отливках любой формы и размеров. В результате взаимодействия магнитного порошка с магнитным полем, на поверхности отливки над дефектом образуется валик из магнитного порошка, воспроизводящий конфигурацию дефекта;

-магнитографический метод заключается в записи магнитного поля дефектов на магнитную ленту, которая впоследствии расшифровывается;

-метод с использованием магнитных преобразователей. Автоматические методы контроля.

**Магнитный контроль фазового состава сплава.** Все магнитные характеристики сплавов можно условно объединить в две группы:

- 1 группа - характеристики, нечувствительные к структурным изменениям, но чувствительные к изменению фазового состава;
- 2 группа - характеристики, чувствительные к структурным изменениям.

Характеристики первой группы используют для фазового магнитного анализа, вторые - для магнитного структурного анализа.



Некоторые магнитные характеристики фаз отличаются более чем на два порядка. Это позволяет достаточно точно определить фазовый состав по величине магнитных характеристик.

Фазовый магнитный анализ используют для контроля сплавов на основе Fe. Контролю подвергают как исходную литую структуру, так и эффективность термической обработки отливок. Необходимость такого контроля вызвано следующими обстоятельствами. Например, известно, что при увеличении содержания  $\Phi$  в чугуна интенсивно снижается его склонность к хрупкому разрушению, одновременно резко ухудшается обрабатываемость отливки.

*Магнитный структурный анализ.* На свойства влияют также различные дефекты кристаллического строения и микронапряжения, которые можно оценить магнитоструктурным анализом.

Многие механические и технологические свойства сплавов определяются не только фазовым составом, но и структурой - размером зерна матрицы, формой и взаимным расположением структурных составляющих их графитизации. Это объясняется увеличением объемного содержания феррита. Размеры и форма графитовых включений оказывает существенное влияние на магнитные свойства чугуна.

Сравнение механических и магнитных свойств различных чугунов указывает на возможность эффективного контроля механических свойств чугунов с помощью измерения магнитных характеристик.

Особый интерес представляет использование магнитных методов для оценки структуры и свойств аустенитных чугунов.

### **3.20.ПРОИЗВОДСТВО ОТЛИВОК ИЗ СТАЛИ**

Сталью называют железоуглеродистые сплавы, содержащие до 2 % С. Наряду с углеродом в сталях присутствуют Mn, Si, S, P, N, H, O и другие элементы, попавшие в нее из шихтовых материалов или введенные в процессе ее производства (Mnв углеродистые стали вводят, например, для

раскисления). Другие (легирующие) элементы добавляют для придания стали особых физических, физико-химических свойств или повышения ее прочности. Это чаще всего Cr, Ni, Mo, V, а также Mn в количестве, превышающем потребности раскисления. Сталь широко применяют прежде всего для деталей, которые наряду с высокой прочностью должны обладать хорошими пластическими свойствами, быть надежными и долговечными в эксплуатации. Многие стали хорошо свариваются, что дает возможность изготавливать сложные сварно-литые конструкции.

### 3.21. Литейные стали

Стальные отливки можно классифицировать по: химическому составу; структуре; назначению отливок; способам плавки стали.

По химическому составу стальные отливки подразделяют на четыре класса:

- из углеродистой нелегированной стали (для фасонных отливок, содержащих 0,09-0,55 % C);
  - из низколегированной стали (суммарное содержание легирующих элементов до 2,5 %);
  - из среднелегированной стали с содержанием 2,5-10 % легирующих элементов;
  - из высоколегированной стали с содержанием > 10 % легирующих элементов.
- *Углеродистые литейные стали.* Из углеродистой стали изготавливают около 2/3 стальных отливок. По технологическим (литейным) свойствам углеродистая сталь уступает чугуну.

Маркировка литейных углеродистых сталей и механические свойства приведены в табл. 81.

Таблица 81

## Механические свойства сталей

Марка стали	Категория прочности	Предел текучести $\sigma_T$ , МПа	Временное сопротивление $\sigma_B$ , МПа	Относительное удлинение $\delta$ , %
Нормализация или нормализация с отпуском				
Стали конструкционные нелегированные				
15Л	К20	196	392	24
20Л	К20	216	412	22
25Л	К20	235	441	19
30Л	К25	255	471	17
35Л	К25	275	491	15
40Л	К30	294	520	14
45Л	К30	314	540	12
50Л	К30	334	569	11
Стали конструкционные легированные				
20ГЛ	К25	275	540	18
35ГЛ	К30	294	540	12
20ГСЛ	К30	294	540	18
30ГСЛ	К35	343	589	14
20Г1ФЛ	К30	314	510	17
20ФЛ	К30	294	491	18
30ХГСФЛ	К40	392	589	15
45ФЛ	К40	392	589	12
20ХМЛ	К25	245	441	18
20ХМФЛ	К25	275	491	16

В зависимости от содержания углерода сталь делят на низкоуглеродистую (до 0,20 % С), среднеуглеродистую (от 0,20 до 0,45 % С) и высокоуглеродистую (более 0,45 % С).

Углерод является основным элементом, определяющим механические свойства углеродистых сталей. Увеличение содержания углерода повышает прочность и снижает пластичность. Такое изменение свойств связано с тем, что по мере увеличения концентрации углерода в структуре возрастает количество перлита - более прочной, но менее пластичной, чем феррит, составляющей.

Марки стали обозначают цифрами, соответствующими среднему содержанию углерода (указывается количество сотых долей процента), и буквой Л (литая). Например, сталь, содержащую 0,25 % С, обозначают 25Л.

По качественным показателям, устанавливаемым в зависимости от назначения и предъявляемых требований, отливки разделяются на три группы:

- I - общего назначения;
- II - ответственного назначения;
- III - особо ответственного назначения.

Углеродистая сталь всех марок содержит 0,20-0,42 % Si, сталь 15Л, 20Л, 25Л - 0,30-0,75 % Mn, а остальных марок - 0,40-0,90 % Mn. Как кремний, так и марганец вводят в сталь главным образом для раскисления (а марганец для нейтрализации вредного влияния серы), они существенного влияния на механические свойства не оказывают. Массовая доля примесей серы и фосфора приведена в табл. 82.

Сера усиливает красноломкость стали, склонность ее к образованию горячих трещин. Для отливок, испытывающих сильное торможение протекающей усадке, а также для толстостенных отливок, где благодаря ликвации возможна местная концентрация серы, целесообразно ограничивать ее содержание до 0,03-0,035 %.

Массовая доля серы и фосфора в конструкционных нелегированных сталях ГОСТ 977-88

Группа отливок	Массовая доля примесей, %, не более, в стали					
	Основной	кислый	основной марте- новской	основной	кислый	основной марте- новской
	сера			фосфор		
1	0,040	0,060	0,050	0,040	0,060	0,050
2	0,035	0,060	0,045	0,035	0,060	0,040
3	0,030	0,050	0,045	0,030	0,050	0,040

Фосфор понижает пластичность стали при нормальной и низких температурах, входя в раствор с  $\alpha$ -железом и образуя по границам зерен фосфидную эвтектику. Вредное влияние фосфора особенно резко проявляется в сталях с повышенным содержанием углерода. Для ответственных отливок желательно содержание фосфора ограничить до 0,03 %.

В литом состоянии структура углеродистых литейных сталей характеризуется крупным зерном: перлит с крупными пластинками феррита и называется «видманшtedтовой». Она исправляется ТО - отжигом, нормализацией, закалкой или их комбинациями. В результате образуются равноосные мелкие ферритные и перлитные зерна. Кроме того, в процессе отжига при 600-650 °С снимаются остаточные литейные напряжения [8].

Низкая жидкотекучесть сталей объясняется, главным образом, высокой температурой ликвидуса и соответственно низкой температурой заливки. Суммарная объемная усадка затвердевания и усадка в жидком состоянии составляет 6,0-7,0 %. Поэтому стальные отливки необходимо получать с прибылями [16]. Для стальных отливок характерно развитие пористости, в них часто образуются горячие трещины.

Углеродистые стали склонны к насыщению газами и неметаллическими включениями (НВ), а также к ликвации, по сере и фосфору, особенно отливки с толщиной стенки более 80 мм. К изменению механических свойств в зависимости от толщины стенок литейные углеродистые стали менее чувствительны, чем другие сплавы, особенно учитывая обязательную их термическую обработку.

**Легированные литейные стали.** Легирование стали является одним из средств увеличения надежности, долговечности и снижения массы литых деталей. Выбор легирующих элементов обуславливается главным образом назначением отливки, а также ее конструктивными и технологическими особенностями.

Легирующие элементы вызывают образование новых структурных составляющих и изменение свойств существующих фаз. Химический состав легированных сталей приведены в табл.83.

Таблица 83

Средний химический состав легированных сталей, мас. %

Марка стали	C	Mn	Si	Cr	Ni	Cu	V	Mo
20ГЛ	0,20	1,4	0,3	-	-	-	-	-
35ГЛ	0,35	1,4	0,3	-	-	-	-	-
35ГСЛ	0,30	1,3	0,7	-	-	-	-	-
20ФЛ	0,20	0,9	0,3	-	-	-	0,12	-
45ФЛ	0,45	0,7	0,3	-	-	-	0,15	-
40ХЛ	0,40	0,7	0,3	1,0	-	-	-	-
35ХМЛ	0,35	0,7	0,3	1,0	-	-	-	0,25
30ХНМЛ	0,30	0,7	0,3	1,5	1,5	-	-	0,25
35ХГСЛ	0,35	1,2	0,7	0,8	-	-	-	-
23ХГС2МФЛ	0,23	0,7	1,9	0,9	-	-	0,12	0,25
20ДХЛ	0,12	0,6	0,3	1,0	-	1,5	-	-

Примечание. Содержание S и P не более 0,03-0,05 % каждого.

Легированную сталь маркируют сочетанием цифр и букв. Первые цифры обозначают среднее содержание углерода в сотых долях процента, буквы указывают элементы, которыми легирована сталь. Принято следующее буквенное обозначение легирующих элементов: С - кремний, Г - марганец, Н -

никель, Х - хром, М - молибден, В - вольфрам, К - кобальт, Д - медь, Т - титан, Ф - ванадий, Р - бор, Ю - алюминий, Л - литейная. Цифры, стоящие после букв, указывают примерную массовую долю легирующего элемента в процентах.

Чаще других применяют стали, легированные кремнием, марганцем, хромом и никелем, медью и др. Марганцевые стали отличаются более высокой прочностью, они широко используются при изготовлении отливок для железнодорожного транспорта, экскаваторов и других машин. У хромовых сталей также повышенные по сравнению с углеродистой сталью механические свойства и прокаливаемость.

Одновременное легирование хромом и никелем проявляется в измельчении зерна, а легирование медью позволяет получить однородные свойства в тонких и толстых сечениях отливок.

### **3.22. Классификация стали по структуре и назначению**

*По структуре* разделяют классифицируют углеродистые и легированные стали, т.к. сходные структурные составляющие, в зависимости от растворенного в них легирующего элемента, обладают различными свойствами.

Отливки из углеродистой стали могут иметь ферритную (Ф) и перлитную (П) структуру.

Следует отметить, что в реальных углеродистых сталях (даже низкоуглеродистых) чисто ферритные структуры не наблюдаются. По границам ферритных зерен образуются выделения третичного  $Fe_3C$ , который образуя хрупкую оболочку вокруг зерен феррита, заметно снижает его пластичность и вязкость. В заэвтектидных углеродистых сталях по границам зерен перлита выпадает вторичный цементит (рис. 142) [8].

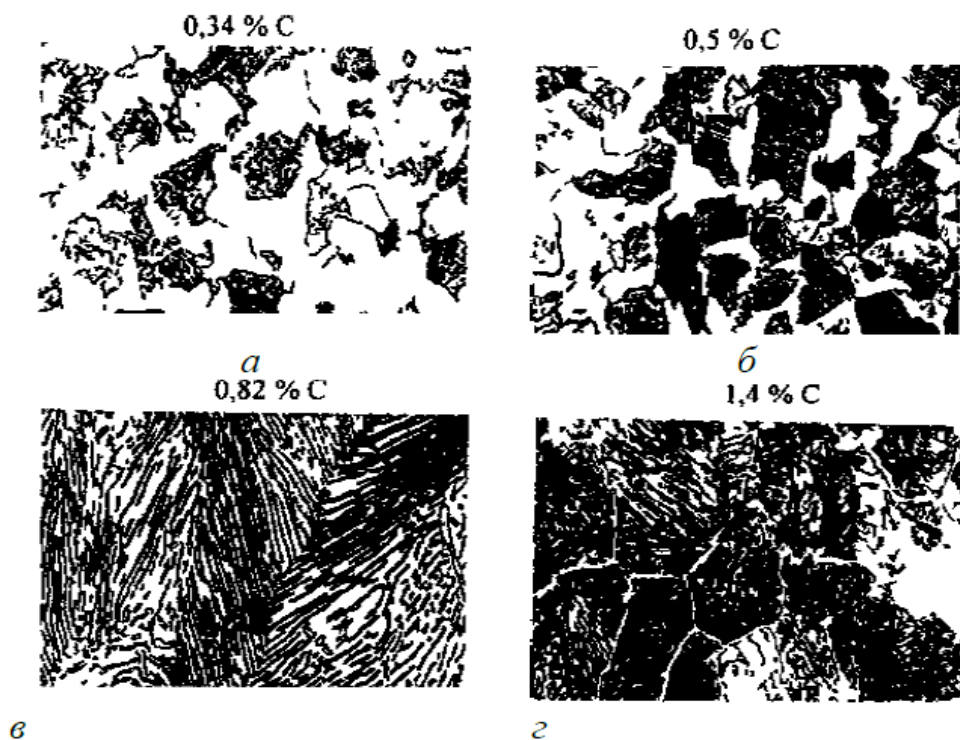


Рис. 142. Микроструктура стали: *а, б* - доэвтектоидная (феррит + перлит; светлые участки - феррит, темные - перлит); *в* - эвтектоидная - перлит (смесь перлита и цементита); *г* - заэвтектоидная (перлит + вторичный цементит), х600

Отливки из высоколегированных сталей по структуре делят на 6 классов: мартенситный (перенасыщенный твердый раствор углерода в  $Fe_a$ , такой же концентрации как у исходного аустенита); мартенситно-ферритный; ферритный; аустенито-мартенситный; аустенито-ферритный; аустенитный.

Структура отливки из высоколегированных сталей определяется содержанием легирующих элементов, углерода, режимом термообработки.

*По назначению или служебным свойствам* стальные отливки подразделяются на три группы (табл. 84).

Таблица 84

Классификация стальных отливок



1	Отливки общего назначения	Отливки для деталей, конфигурация и размеры которых определяются только конструктивными и технологическими соображениями	Внешний вид, размеры, химический состав
2	Отливки Ответственного назначения	Отливки для деталей, рассчитываемых на прочность и работающих при статических нагрузках	Внешний вид, размеры, химический состав, механические свойства (предел текучести или временное сопротивление разрыву и относительное удлинение)
3	Отливки особого назначения	Отливки для деталей, рассчитываемых на прочность и работающих при циклических и динамических нагрузках	Внешний вид, размеры, химический состав, механические свойства (предел текучести или временное сопротивление разрыву, относительное удлинение и ударная вязкость)

В число контролируемых показателей могут быть также включены микроструктура, пористость, герметичность и другие характеристики.

### **Классификация процессов плавки стали и их общая характеристика**

По способу выплавки различают стали приготовленные в печах с кислой или с основной футеровкой. Многие углеродистые и часть низколегированных сталей выплавляют в кислых печах, а средне и высоколегированные - в основных печах.

На практике для выплавки стали применяются следующие печи:

- кислые и основные дуговые (для мелких и средних отливок из углеродистой и низколегированной стали);
- кислые и основные индукционные печи (для мелких и средних отливок из углеродистой и низколегированной стали);
- кислые и основные мартеновские (для средних и крупных отливок из углеродистой, низко- и среднелегированной стали);
- установки ЭШП (электрошлаковым переплавом изготавливают особо ответственные отливки специального назначения);
- конвертеры (малоответственные мелкие и средние отливки).

Процессы плавки стали по своей физико-химической сущности подразделяют на кислые и основные. При кислом процессе *невозможно* удалить из металла серу и фосфор, что накладывает на его применение ряд ограничений. Но экономичность кислого процесса выше, чем основного, так при плавке в ДСП при кислом процессе стойкость футеровки выше, а продолжительность плавки на 20-25 % меньше, расход электроэнергии на 10-15 % ниже, чем при основном. В связи с этим, для плавки обычных углеродистых и низколегированных сталей целесообразно применять кислый процесс.

**Основной** процесс осуществляется в печах с футеровкой из магнезита или хромомагнезита и с применением основных шлаков, содержащих значительно больше CaO, MgO, чем кислые шлаки. Основные шлаки позволяют осуществлять процессы десульфурации и дефосфорации.

Поэтому, для получения высококачественных сталей применяют основной процесс. Технологические схемы печей приведены на рис. 155.

**Мартеновская печь** (рис. 143, а) имеет футерованную ванну 4, перекрытую сводом 6, в которую через окна 5 загружается шихта. В боковых торцах печи расположены головки 3 для сжигания топлива (газа или мазута). Газ и воздух подогреваются в регенераторах 2, в которые воздух и газ подаются по системе каналов с перекидными клапанами 1,

обеспечивающими поочередную работу регенераторов, так при работе левых регенераторов на нагрев воздуха и газа, правые нагреваются отходящими газами и наоборот.

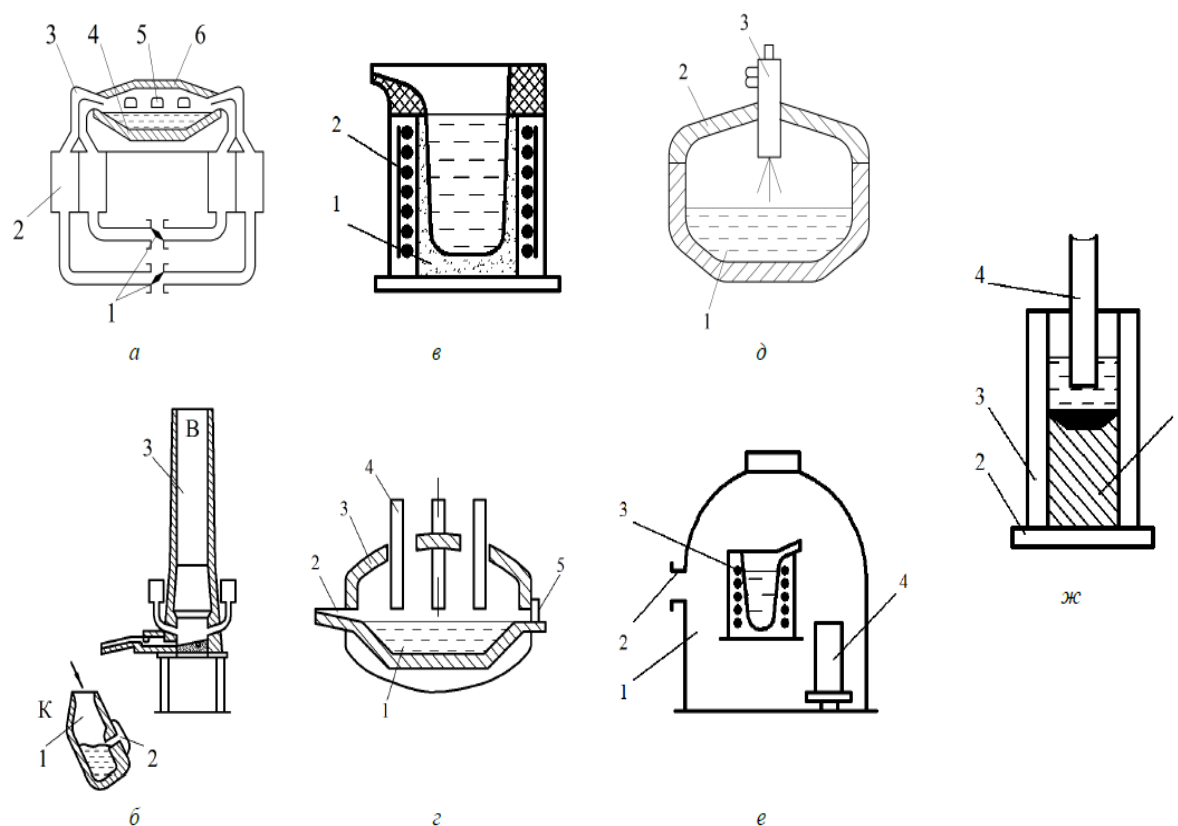


Рис. 143. Технологические схемы печей для плавки стали: *а* - пламенная стационарная печь (мартеновская);  
*б* - вагранка (В) в дуплексе с конвертером (К); *в* - индукционная тигельная печь; *г* - дуговая печь; *д* - плазменная печь;  
*е* - индукционно-вакуумная печь; *ж* - электрошлаковая печь

**Дуплекс-процесс** (рис. 143,б): вагранка-конвертер, осуществляется путем плавки чугуна в вагранке 3 и дальнейшей продувки жидкого металла в конвертере 1 воздухом через фурмы 2.

**Индукционные печи** (рис. 143, в) имеют тигель 1 с индуктором 2, процесс аналогичен процессу плавки чугуна, только без науглероживания.

**Дуговые печи** (рис. 143,г) имеют ванну 1, в которую загружают шихту; свод 3 с электродами 4 при этом отводится в сторону. Рабочее окно 5 исполь-

зуют для наведения шлаков, введения добавок, слива шлака и т.п., по желобу 2 выпускают готовую сталь.

Аналогичное устройство имеют плазменные печи (рис. 143,д). В ванну печи 1 загружают шихту, в своде 2 установлен плазмотрон 3.

Для получения стальных отливок применяют также переплавные процессы в *индукционной вакуумной печи* (ИВП) (рис. 143, е). ИВП состоит из вакуумной камеры 1, подсоединенной патрубком 2 к вакуум-наосу. Печь 3 и форма 4 расположены внутри камеры. Самая крупная ИВП (~ 40 т), предназначенная для дегазации, работает при разреженности  $5 \cdot 10^{-3}$  мм.рт.ст. (0,665 Н/м<sup>2</sup>). Вакуум создается с помощью пяти ступенчатого парозежекторного насоса.

*Переплавный процесс* - переплав в отливку под электронагреваемым шлаком, получивший название *электрошлакового литья* (ЭШЛ) (рис. 143,ж) осуществляется путем переплава исходного слитка 4 (используемого в качестве расходуемого электрода) в отливку 1, формируемую на поддоне 2 в кристаллизаторе 3 электрошлаковой печи. Первая опытно-промышленная установка ЭШП пущена в эксплуатацию в 1958 году. При ЭШП плавление и формирование слитка происходит в одном пространстве, характерной особенностью процесса является непрерывная наплавка металла в медном водоохлаждаемом кристаллизаторе.

Отсутствие контакта расплавленного металла с огнеупорными керамическими материалами, рафинирование основным жидким шлаком, исключение промежуточной операции разливки и интенсивная кристаллизация в металлическом кристаллизаторе позволяют получать сталь высокого качества.

### 3.23.МЕХАНИЧЕСКИЕ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СТАЛИ

**Влияние химического состава стали на ее свойства.** В обычных углеродистых сталях содержание углерода колеблется в пределах от 0,1 до 1,7 %. В специальных сталях его содержание может быть до 2,0 %. Наличие углерода в стали определяется его содержанием в исходных шихтовых материалах и в первую очередь в чугунах - основном материале, используемом для передела на сталь. В процессе плавки содержание углерода в стали регулируется.

Одновременно с углеродом шихтовые материалы вносят в сплав марганец, кремний, серу, фосфор, мышьяк, свинец и олово.

Марганец и кремний в процессе выплавки стали окисляются и в большей своей части удаляются из нее, однако, являясь раскислителями, вновь добавляются в конце плавки в виде специальных добавок - ферросплавов. Для некоторых марок сталей эти элементы используются в качестве легирующих добавок, что обеспечивает данным сплавам необходимые механические и физические свойства.

К вредным примесям относятся: сера, фосфор, мышьяк, сурьма, олово, свинец и медь, являющиеся примесями, характеризующими природу того или иного чугуна. Содержание серы и фосфора обычно в сталях не превышает 0,04-0,06 %. Остальные вредные примеси содержатся в стали в незначительных количествах (до 0,003 %). Однако будучи легкоплавкими, они в процессе затвердевания располагаются тончайшими пленками между зернами, чем и снижают пластические свойства стали.

Для придания стали необходимых механических и физико-химических свойств в нее вводят специальные легирующие элементы: кремний, марганец, хром, никель, вольфрам, молибден, ванадий, титан, кобальт, цирконий, церий, кальций, алюминий и др.

Углерод в сталях является элементом повышающим прочность и снижающим пластичность. Для углеродистой стали, как для конструкционного ма-

териала, важной характеристикой является отношение предела текучести к временному сопротивлению при растяжении. С увеличением концентрации углерода предел текучести увеличивается менее интенсивно, чем предел прочности при растяжении. Поэтому в конструкциях получили наибольшее распространение отливки из сталей, содержащих не более 0,35 % С.

Марганец повышает твердость, предел прочности и предел текучести стали и одновременно понижает величины относительного сжатия, удлинения и ударной вязкости. Кроме того, марганец повышает прокаливаемость углеродистой стали. В цементите  $Fe_3C$  марганец частично замещает железо.

Кремний вводят в сталь в основном для раскисления. При содержании кремния более 1,7 % сталь, в зависимости от содержания углерода, приобретает однофазное ферритное строение при всех температурах. При содержании углерода выше 0,5 % кремний в количестве 1,5-2,0 % вызывает графитизацию стали при отжиге.

Содержание серы и фосфора в основной мартеновской и электростали допускается до 0,05 %, в кислой стали до 0,06 %. С железом сера образует химическое соединение  $FeS$  - сернистое железо, температура плавления которого равна 1193 °С. В жидком металле сернистое железо растворяется плохо. В свою очередь  $FeS$  образует с железом легкоплавкую эвтектику, с температурой плавления 988 °С. Эта эвтектика образуется даже при очень малых содержаниях серы. Кристаллизуясь из жидкости при окончании затвердевания, эвтектика преимущественно располагается по границам зерна. При нагревании стали до высоких температур (примерно 1000 °С) эвтектика расплавляется, вследствие чего при деформации возникают надрывы и трещины (красноломкость) [8].

Присутствие в стали марганца, обладающего большим сродством к сере, чем железо, и образующего с серой тугоплавкое соединение типа  $MnS$  ( $T_{пл} = 1620$  °С), практически исключает явление красноломкости. В затвердевшей стали частицы  $MnS$  располагаются в виде отдельных равномерно распреде-

ленных неметаллических включений, которые оказывают вредное влияние на пластические свойства металла. Ударные нагрузки при чередовании напряжений приводят к дроблению и частичному выкрашиванию хрупких сернистых включений, что и вызывает образование в отливке трещин.

Сернистые включения сильно снижают механические свойства, особенно вязкость и пластичность, кроме того, эти включения ухудшают свариваемость и коррозионную стойкость. Поэтому содержание серы в стали строго ограничивается.

Фосфор растворяется в железе и при большом содержании образует фосфид  $Fe_3P$ , содержащий 15,62 % P. Растворяясь в феррите, фосфор сильно искажает кристаллическую решетку и увеличивает пределы прочности и текучести, но сильно уменьшает пластичность и вязкость. Снижение вязкости тем значительнее, чем больше в стали углерода. Фосфор значительно повышает порог хладноломкости стали [8].

Вредное влияние фосфора усугубляется тем, что он обладает большой склонностью к ликвации. Вследствие этого в центральных слоях отливки или слитка отдельные участки сильно обогащаются фосфором и имеют резко пониженную вязкость.

В большинстве сталей фосфор является вредной примесью и его содержание в зависимости от качества стали допускают не более 0,025-0,06 %.

Никель, образуя твердый раствор с  $\alpha$ -Fe, увеличивает прочность феррита и сравнительно мало понижает его пластичность. Никель повышает предел упругости более интенсивно, чем предел прочности. Он является незаменимым элементом для массивных и сложных отливок с высокой ударной вязкостью при низких температурах, не допускающих резкого охлаждения в процессе термообработки.

Хром в сталях перлитного класса повышает прокаливаемость, а также пределы текучести и прочности, придает стали вязкость и износостойкость при повышенном содержании углерода. Высокая износостойкость хромистой

стали основана на ее высокой начальной твердости. Как конструкционный материал низколегированная хромистая сталь может применяться лишь для отливок с толщиной стенок не более 80 мм. Для более массивных отливок используют хромомолибденовые стали. Хром в количестве 12 % и более сообщает стали высокие антикоррозионные свойства во влажной атмосфере. На поверхности отливок образуется защитная пленка окислов хрома, как в условиях высоких температур, так и при корродирующем действии различных сред.

Ванадий сообщает любой легированной стали более мелкозернистое строение при первичной кристаллизации. Он образует в стали прочные карбиды и нитриды.

Вольфрам применяется с целью легирования стали при изготовлении отливок для литого инструмента. Он обеспечивает сохранение твердости литого инструмента.

Титан применяется в качестве средства против межкристаллитной коррозии кислотоупорной (высокохромистой) стали. При введении титана в сталь углерод в ней связывается в прочные труднорастворимые карбиды титана, рассеянные по всему объему металла, а не по границам зерен. Таким образом, карбиды хрома (у высокохромистых кислотоупорных сталей) не могут быть образованы и распределены по границам зерен металла, и приграничный слой зерна у сталей, содержащих хром, не будет обедняться хромом.

**Технологические свойства стали.** Стальные отливки изготовливать более сложно и трудоемко по сравнению с изготовлением отливок из серого чугуна. Особые условия сталелитейного производства обусловлены способами выплавки и литейными свойствами стали.

*Жидкотекучесть* - одно из важнейших литейных свойств сплавов, выражающееся в их способности заполнять литейную форму и давать качественный отпечаток поверхности формы на отливке, т.е. точно воспроиз-



дить конфигурацию формы. Она определяется различными факторами, связанными с физико-химическими свойствами сталей, характером движения стали в литниковых каналах и форме, с физико-химическим взаимодействием между расплавом стали и формой и т.д. Основным фактором, влияющим на жидкотекучесть стали является изменение температуры сплава. С увеличением температуры заливки стали жидкотекучесть значительно возрастает. Жидкотекучесть определяет и такое технологическое свойство, как заполняемость литейной формы. Заполняемость формы зависит также от количества и вида газовых и неметаллических включений, плотности, теплопроводности стали, температурного интервала и скрытой теплоты кристаллизации, давления металла и гидравлического сопротивления, которое сплав испытывает при движении в форме, от теплоаккумулирующей способности формы, свойств поверхностных плен и т.д. [10]. Жидкотекучесть углеродистой стали в среднем в два раза меньше жидкотекучести серых чугунов. Низкая жидкотекучесть стали объясняется относительно высокими значениями вязкости и поверхностного натяжения при температурах разливки. Динамическая вязкость среднеуглеродистой стали (0,3 % C) при 1555 °C составляет 0,026 пз против 0,021 пз для серого чугуна при 1250 °C, а поверхностное натяжение углеродистой стали превышает поверхностное натяжение серого чугуна более, чем в 1,3 раза.

С увеличением содержания углерода жидкотекучесть стали возрастает. Повышение кремния в стали также увеличивает ее жидкотекучесть. Марганец до 2 % не оказывает заметного воздействия на величину жидкотекучести, но высокомарганцовистые стали отличаются лучшей жидкотекучестью по сравнению с углеродистыми.

***Склонность стали к пленообразованию.*** Это свойство стали приводит к повышению брака отливок по спаям и пленам. Характер образующейся пленки во многом зависит от состава стали. Так, хромистые стали затягива-

ются пленкой из окислов хрома в виде елочек, кремнистые стали покрываются пленкой белого цвета - вся поверхность металла как бы заливается молоком и т.д. [10].

Способность стали к образованию плен связана со сродством основного компонента в ней с кислородом. Наибольшее воздействие на пленообразование стали оказывают элементы в порядке убывания: алюминий, титан, хром и кремний. Сочетание хрома и титана резко увеличивает пленообразование.

**Особенности усадки сталей.** Усадка - уменьшение размеров и объема отливки в процессе охлаждения и кристаллизации сплавов. Усадка может быть линейной и объемной. Линейная усадка является одним из важных свойств стали, учитываемых при разработке технологического процесса получения отливок. При охлаждении отливок с температуры заливки сплава в форму до комнатной можно выделить три состояния сплава - жидкое, затвердевания и твердое и соответственно им выделить три вида усадки. **Жидкое состояние**, существующее при понижении температуры заливки сплава до температуры ликвидуса. В этот период протекает усадка в жидком состоянии. Эта объемная усадка ведет к понижению уровня жидкого металла после заполнения им формы. Ее значение будет тем больше, чем больше перегрев стали. **Состояние затвердевания**, протекающее в интервале температур ликвидус - солидус, в это время происходит образование усадки, которая зависит от интервала кристаллизации. На величину усадки оказывает влияние химический состав стали, особенно велико при этом влияние углерода. С повышением его содержания повышается усадка при затвердевании [10]:

Содержание углерода, %	0,10	0,35	0,45	0,70
Усадка при затвердевании, %	2,0	3,0	4,3	5,3

Наличие в стали усадки при затвердевании - одна из ее особенностей по сравнению с чугуном, приводящей к образованию усадочных дефектов больших размеров. **Твердое состояние**, существующее при понижении температуры сплава от температуры солидуса до комнатной, и соответствующая

ему усадка в твердом состоянии, которая может определяться и как объемная и как линейная.

Объемная усадка стали за период полного охлаждения отливки выражается суммой величин усадки ее в жидком состоянии, в период ее кристаллизации и в твердом состоянии. Для определения величины линейной усадки стали измеряют длину образца, изготовленного из нее. Уменьшение длины образца характеризует линейную усадку ( $\epsilon_{\text{лин}}$ , %). Ее вычисляют по выражению:

$$\epsilon_{\text{лин}} = (L_1 - L_2) / L_2 \cdot 100, \%$$

где  $L_1$  - линейный размер образца в момент образования на нем поверхностной корки твердой стали;  $L_2$  - линейный размер этого же образца после полного его охлаждения.

Объемная усадка приблизительно равна тройной линейной усадке:

$$\epsilon_{\text{об}} = 3\epsilon_{\text{лин}}.$$

В результате уменьшения объема стали, при переходе ее из жидкого состояния в твердое, в отливках получают пустоты - усадочные раковины и усадочные поры. Усадочная раковина образуется в тех местах отливки, откуда жидкая сталь при уменьшении объема всей отливки уходит вследствие силы тяжести. Усадочные поры образуются между дендритами при замыкании ими своих ветвей. Оба типа усадки нарушают сплошность отливки.

Средняя величина линейной усадки для отливок из углеродистых и низколегированных конструкционных сталей равна 1,6-2,0 %; для отливок из высоколегированных хромистых сталей - 1,3-1,7 %; для отливок из феррито-аустенитных сталей - 1,8-2,2 %; для отливок из чисто аустенитных сталей - 2,5-3,0 % [10].

### 3.24.ЛЕГИРОВАНИЕ СТАЛИ

*Легированием* называют процесс присадки в сталь легирующих элементов для придания особых физико-химических или механических свойств (например, марганец при его содержании в стали в количестве 10-14 % придает износостойкость; никель в количестве 8-10 % - кислотоупорность; хром в количестве 14-18 % - жаропрочность и жаростойкость и т.д.).

Легирующими могут быть как элементы, не встречающиеся в простой стали, так и элементы, которые в небольших количествах содержатся во всякой стали (C, Mn, Si, P, S). Очень часто операцию легирования совмещают с операцией раскисления (особенно если металл легируют марганцем, кремнием или алюминием).

Легирующие элементы - металлы можно условно разделить на следующие группы:

- металлы железной группы. К ним относятся металлы кобальт, никель, а также близкий к ним по свойствам марганец;

- тугоплавкие металлы. К ним относятся металлы, имеющие температуру плавления выше, чем у железа, т.е. выше 1539 °С. Из тугоплавких металлов, наиболее часто используемых в качестве легирующих элементов в стали, можно отметить вольфрам, молибден, ниобий, а также ванадий и хром;

- легкие металлы. Из этой группы легирующих элементов наиболее часто применяют титан и алюминий;

- редкоземельные металлы (РЗМ). К этой группе относятся лантан, церий, неодим, а также близкие к ним по свойствам иттрий и скандий. Редкоземельные металлы часто используют в виде так называемого мишметалла, содержащего 40-45 % церия и 45-50 % всех других редкоземельных металлов.

Для сталеплавильщиков важно знать поведение легирующей примеси при плавке стали для того, чтобы выплавить металл нужного состава с минимальными потерями легирующих материалов. Главное при этом - избежать

ненужного взаимодействия легирующих примесей с кислородом, чтобы уменьшить потери (угар) легирующих элементов и обеспечить получение в стали минимума продуктов окисления легирующих - неметаллических включений, загрязняющих стали и снижающих их качество [7].

В зависимости от того, каким элементом легирована сталь, она называется хромистой, никелевой, ванадиевой и т.д. Более часто сталь легируют не одним, а двумя-тремя элементами. Например, хромом и никелем (хромоникелевая сталь), хромом и марганцем (хромомарганцевая сталь) или хромом, никелем и вольфрамом (хромоникельвольфрамовая сталь) и т.д.

В состав некоторых среднеуглеродистых сталей, например, хромистых, хромомарганцевых, добавляют бор в количестве 0,002-0,005 %.

В качестве легирующих элементов и технологических присадок для увеличения прокаливаемости и снижения порога хладноломкости применяют редкоземельные металлы.

Легированные стали обладают наилучшими механическими свойствами после термической обработки. Это объясняется тем, что легирующие элементы задерживают диффузионные процессы и оказывают, поэтому большое влияние на фазовые превращения, протекающие в стали при закалке и при отпуске [8].

Легирующие элементы повышают устойчивость закаленной стали против отпуска. Для получения требуемой твердости легированные стали подвергают отпуску при более высокой температуре, чем углеродистые. Это позволяет не только более полно снять закалочные напряжения, но и получить в стали лучшее сочетание прочности и вязкости.

Повышение механических свойств достигается также в результате того, что многие легирующие элементы способствуют измельчению зерна и упрочняют феррит [8].

Некоторые легирующие элементы значительно повышают стойкость стали против коррозии, прочность при высоких температурах и улучшают многие физические свойства.

Легирование стали начинается еще в период расплавления шихты и продолжается в течение всей плавки. Легирующие элементы, обладающие значительно меньшим сродством к кислороду, чем железо, вводят в ванну вместе с завалкой в период плавления и в окислительный период плавки. Элементы, характеризующиеся более высоким сродством к кислороду, чем железо, вводят в ванну после скачивания окислительного шлака и в течение восстановительного периода плавки.

Наиболее часто в качестве легирующих элементов используют - Ni, Mn, Al, W, Co, Mo, Si, Ti, V, Cr, Se, реже цирконий, свинец.

При легировании Ni, Co, Mo эти элементы могут быть введены в металл в любой момент плавки, часто вместе с завалкой, т.к. практически не окисляются.

Есть легирующие элементы, сродство к кислороду у которых больше, чем у железа - это Si, Mn, Al, Cr, V, Ti чтобы избежать большого угара этих элементов при легировании, их вводят в металл после раскисления или одновременно с раскислением в самом конце плавки (часто в ковше). Легирующие примеси вводят в металл или в чистом виде (бруски чистой меди, чистого алюминия, никеля и др.) или в виде сплавов (ферросилиций, ферромарганец, ферроалюминий др.), или в виде соединений (окислы ванадия, марганцевая руда, молибдат кальция и др.). Во всех случаях стремятся использовать (для удешевления стали) максимальное количество дешевых отходов (шлак, руду), содержащих нужный элемент.

Иногда применяют легирующие, введение которых в металл связано с возможной опасностью для здоровья, т.к. пары этих металлов или их соединений вредны. К таким элементам относятся сера, свинец, селен, теллур.

*Легирование никелем, молибденом, вольфрамом, хромом, ванадием, кремнием, марганцем, титаном, алюминием и РЗМ.*

*Легирование никелем.* Никель обладает значительно меньшим сродством к кислороду, чем железо. Он практически не окисляется, даже при очень высоком содержании закиси железа в шлаке, поэтому никель вводят в завалку или в период плавления с таким расчетом, чтобы его содержание в металле по расплавлению было бы выше нижнего предела, заданного химическим составом стали. Некоторые потери никеля возможны вследствие его испарения в зонах электрических дуг. В жидком металле никель быстро растворяется, считают, что при плавке никелевых сталей потери составляют примерно 2 %. Надо иметь в виду, что электролитический никель содержит много водорода, который растворяется в стали, а в период «кипения» удаляется из нее. Если такой никель ввести в восстановительный период плавки, когда период «кипа» уже прошел, то водород не будет удален из стали, поэтому никель всегда вводят в завалку.

При введении никеля в виде закиси никеля, переход никеля в металл составляет около 97 %.

*Легирование молибденом.* Молибден, как и никель, практически не окисляется. Обычно конструкционная сталь содержит молибдена немного. Ферромолибден вводят в окислительный период плавки и корректируют его содержание в восстановительный период плавки, не позднее, чем за 30 мин до выпуска. В течение этого времени ферромолибден успевает раствориться и равномерно распределиться в стали.

*Легирование вольфрамом.* Вольфрам характеризуется большим сродством к кислороду, чем никель и молибден.

Если в шихте содержатся отходы вольфрамовой стали, то часть вольфрама окислится во время плавления и в окислительный период плавки, часть вольфрама теряется также вследствие испарения образующихся окислов

(WO<sub>3</sub>) Если содержание вольфрама в шихте 0,5-1,0 %, то потери вольфрама в периоды плавления и окисления могут достигать 40-50 %.

При наличии вольфрамовых отходов в шихте целесообразно окислительный период плавки производить под слабоосновными шлаками, это уменьшит окисление вольфрама. Ферровольфрам обычно вводится в восстановительный период плавки, когда закиси железа мало и вольфрам не окисляется. Процент усвоения вольфрама около 92 %.

**Легирование хромом.** Хром, содержащийся в шихте, окисляется в период плавления и в окислительный период плавки, поэтому легирование стали хромом производится в восстановительный период.

Феррохром в этот период загружают либо непосредственно после скачивания окислительного шлака, либо после того, как восстановительный шлак становится светлым, т.е. когда содержание FeO будет меньше 2 %.

В первом случае корректировка содержания хрома, производится одновременно с раскислением стали, что сокращает продолжительность восстановительного процесса плавки.

При легировании стали хромом угар хрома равен 2-3 %.

**Легирование ванадием.** Ванадий обладает большим сродством к кислороду, чем железо, поэтому легирование стали ванадием производят в восстановительный период плавки. Конструкционные стали содержат до 0,3 % ванадия. Ванадий вводят в сталь в виде феррованадия за 30-40 мин до выпуска. В это время шлак содержит меньше 0,5 % FeO. Угар ванадия составляет 5-8 %.

**Легирование кремнием.** Кремний вводится в сталь в процессе раскисления. Его содержание в металле в процессе раскисления повышается до 0,2-0,35 %. При плавке кремнистых сталей они легируются кремнием при помощи ферросилиция: ФС45 и ФС75, предварительно ферросилиций прокаливают и вводят в раскисленный металл за 25-30 мин до выпуска. Угар кремния составляет около 10 %.



Низкоуглеродистая кремнистая сталь имеет повышенный предел текучести и прочности по сравнению с аналогичной углеродистой сталью, а наличие феррита в структуре обеспечивает хорошую ее пластичность. Пластичность и ударная вязкость у кремнистой стали примерно в 1,5 раза больше, чем у углеродистой. Высокоуглеродистая кремнистая сталь характеризуется большим сопротивлением износу, особенно в пыльной атмосфере. При увеличении содержания кремния до 3-5 % повышаются электросопротивление и магнитная проницаемость стали. Однако для фасонных отливок эта сталь имеет ограниченное применение, в основном как трансформаторная [10].

**Легирование марганцем.** Марганец, как и кремний, вводится в сталь в процессе раскисления. При плавке марганцовистых сталей они легируются марганцем при помощи ферромарганца: ФМн75 и ФМн78. Являясь карбидообразующим элементом, марганец может заместить в решетке цементита все атомы железа ( $\text{Fe}_3\text{C} \rightarrow \text{Mn}_3\text{C}$ ). Образуя сложные Fe-Mn карбиды, марганец повышает сопротивление пластическим деформациям. В конструкционных низко - и среднелегированных марганцовистых сталях свободных карбидов марганца не образуется, но присутствуют карбиды типа  $(\text{Fe}, \text{Mn})_3\text{C}$ . Содержание марганца в карбиде зависит от его концентрации в стали, а также углерода. Высокомарганцовистая сталь после закалки повышает пластичность, становится аустенитной, немагнитной, обладает высоким сопротивлением износу. Угар марганца составляет около 20 %.

**Легирование титаном.** Титан вводят в состав некоторых марок конструкционных сталей. Иногда его вводят с целью дополнительного раскисления и измельчения структуры стали. Титан обладает большим сродством к кислороду, чем все остальные легирующие элементы, кроме алюминия. Титан окисляется не только FeO, содержащимся в шлаке, но и MnO, Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, SiO<sub>2</sub>, поэтому ферротитан вводят, непосредственно перед выпуском (часто в ковш). Угар титана обычно составляет 40-60 %.

*Легирование алюминием.* В некоторых сталях, подвергающихся азотированию (38ХЮЛ и др.) содержится около 1 % алюминия. Алюминий можно вводить в ковш или в печь. При высоком содержании алюминия в стали почти полностью удаляется кислород.

*Легирование РЗЭ (редкоземельными элементами).* К редкоземельным элементам (лантаноидам) относятся элементы, атомный вес которых колеблется от 57 до 71: лантан - La, церий - Ce, празеодим - Pr, неодим -Nd прометий - Pm, самарий - Sm и другие, всего 15 элементов.

Для легирования стали редкоземельными элементами применяется комплексный сплав под названием «мишметалл», в его состав входят, %: 20-25 La, 50-55 Ce, 15-20 Nd и около 10 других редкоземельных элементов.

Мишметалл вводится в ковш в количестве 1-2 кг на тонну жидкой стали после окончательного раскисления. Легирование стали основано на большом химическом сродстве лантаноидов к кислороду, азоту, водороду сере и другим вредным примесям в стали. Являясь активным раскислителем, дегазатором и десульфуратором мишметалл повышает плотность стали и значительно понижает содержание в ней серы, благодаря чему упрочняются границы зерен стали, следовательно уменьшается красноломкость, а также увеличивается пластичность и ударная вязкость в холодном состоянии.

### **3.25. СПОСОБЫ ВНЕПЕЧНОЙ ОБРАБОТКИ СТАЛИ**

Современная техника предъявляет все более высокие требования к качеству стали. При плавке в обычных печах удовлетворить эти требования невозможно. Поэтому стали, предназначенные для изготовления ответственных изделий, подвергаются дополнительной обработке, направленной на дальнейшую очистку металла от нежелательных (вредных) элементов, растворенных газов, неметаллических включений. Для подтверждения высокой эффективности так называемых «внепечных» способов обработки стали в работе [11] приведены следующие данные: долговеч-

ность подшипников, изготовленных из обработанной внепечными способами стали, увеличилась в 10 раз; в 7 раз выросла ударная прочность стали после внепечной десульфурации. В практике применяют следующие виды внепечной обработки (рис. 144).

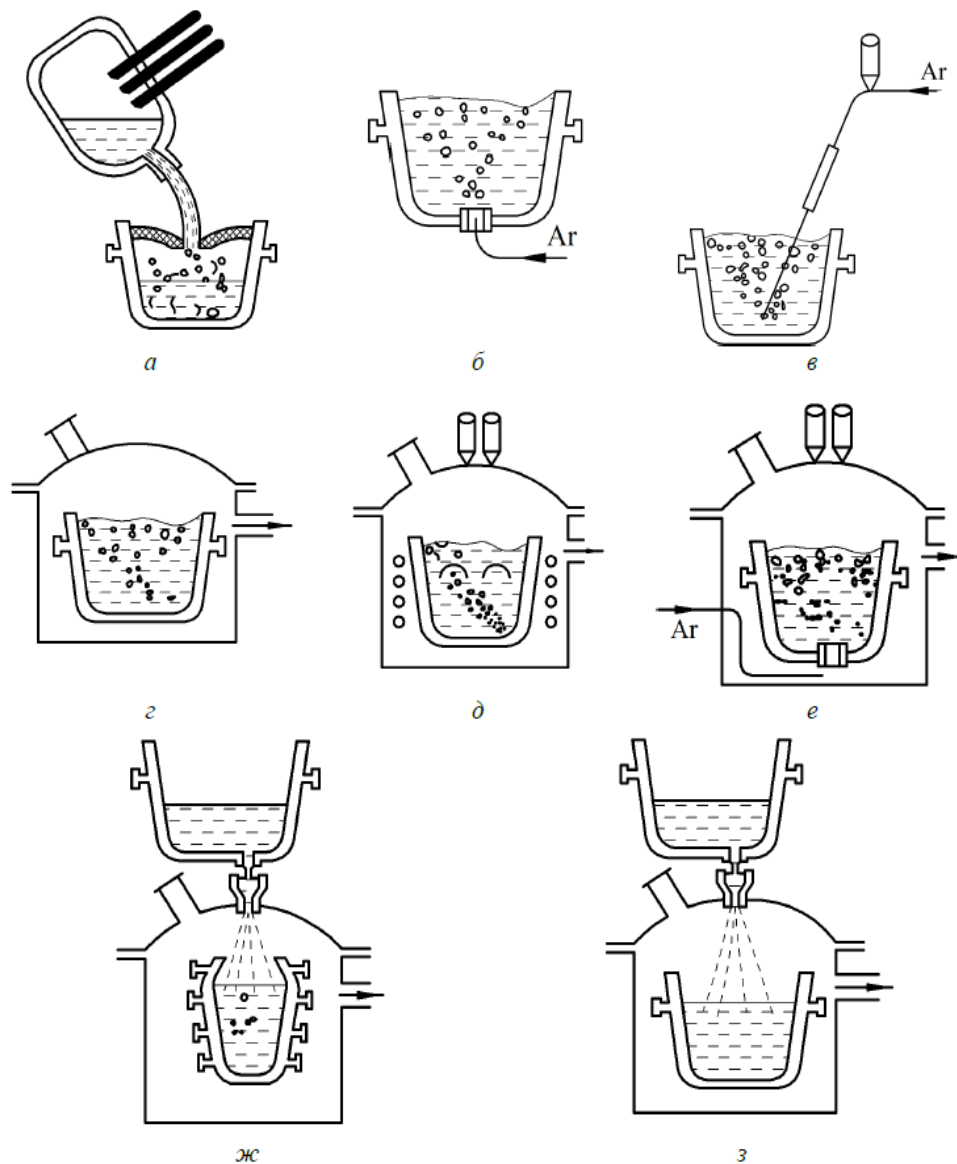


Рис. 144. Схемы процесса внепечной обработки жидкой стали:  
*a* - рафинирование жидким шлаком; *б* - продувка аргоном в ковше;  
*в* - продувка в ковше газопорошковыми смесями; *г* - вакуумирование в ковше;  
*д* - то же с электромагнитным перемешиванием; *е* - то же с перемешиванием аргоном;  
*ж* - вакуумирование в струе при отливке слитка;  
*з* - то же при переливе из ковша в ковш

Свойства сталей в отливках в значительной степени зависят от технологии ее получения, определяющей содержание, состав, форму, распределение неметаллических включений. Технология получения высококачественной стали должна обеспечивать минимальное содержание вредных примесей, желательно компактную форму неметаллических включений и их равномерное распределение в объеме отливки.

Широкими возможностями улучшения качества стали располагают методы внепечной обработки, позволяющие рафинировать и модифицировать сталь, влиять на состав и распределение неметаллических включений.

**Обработка стали синтетическим шлаком.** Шлак на основе извести и глинозема выплавляют в специальной дуговой печи с угольной футеровкой (рис. 145). Синтетический шлак выпускают из печи с температурой 1650 °С.

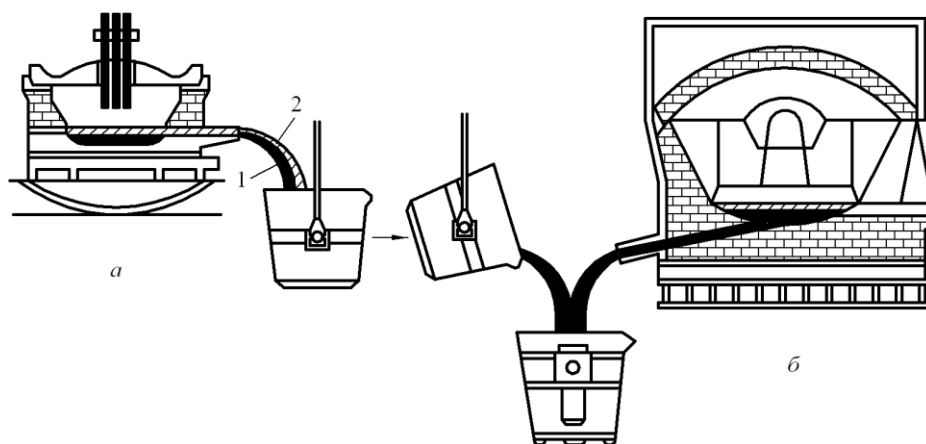


Рис. 145. Схема совмещенного процесса раскисления, легирования и рафинирования стали: *а* – выпуск жидкого сплава и синтетического шлака; *б* – перемешивание жидкого сплава и синтетического шлака с металлом; 1 – лигатура; 2 – шлак

Ковш со шлаком подводят к сталеплавильной печи и устанавливают так, чтобы высота падения струи металла составляла 3-5 м. Предварительно, перед выпуском стали из печи, удаляют с поверхности расплава шлак. В процессе выпуска струя стали, падая с большой высоты на слой

синтетического шлака в ковш, разбивается на мелкие капли, быстро реагирующие со шлаком. Т.к. шлак имеет высокую основность и содержит очень мало FeO, то он активно поглощает из металла много серы и кислорода (с помощью этого метода содержания серы в стали можно снизить до 0,005-0,006 %) и уменьшить количество НВ.

В результате интенсивного перемешивания и эмульгирования резко возрастает поверхность контакта стали со шлаком, что обуславливает высокие скорости процессов десульфурации и раскисления металла. Наилучшими физико-химическими свойствами обладают шлаки системы CaO-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> следующего состава, %: 50-55 CaO; 40-45 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, при минимальном содержании FeO (< 1 %) и SiO<sub>2</sub> (< 5 %).

Таким образом, обработка стали синтетическим шлаком позволяет производить внепечную десульфурацию и очистку от неметаллических включений и газов.

### **3.26. КОНВЕРТЕРНОЕ ПРОИЗВОДСТВО СТАЛИ**

**Конвертерные процессы с донным воздушным дутьем.** Сущность конвертерных процессов на воздушном дутье (бессемеровского и томасовского) заключается в том, что залитый в плавильный агрегат (конвертер) чугун продувают снизу воздухом; кислород воздуха окисляет примеси чугуна, в результате чего он превращается в сталь. Тепло, выделяющееся при окислении, обеспечивает нагрев стали до температуры выпуска (~ 1600 °С).

Бессемеровский и томасовский конвертеры представляют собой сосуд грушевидной формы, выполненный из стального листа с футеровкой изнутри. Футеровка бессемеровского конвертера кислая (динасовый кирпич), томасовского - основная (смолодоломит). Сверху - горловина для заливки чугуна и выпуска стали. Снизу к кожуху крепится отъемное днище с воздушной коробкой. Дутье, подаваемое в воздушную коробку, поступает

внутри конвертера через фурмы, имеющиеся в футеровке днища. Дутье - воздух, подаваемый под давлением 0,30-0,35 МПа. Цилиндрическая часть конвертера охвачена опорным кольцом; к нему крепятся цапфы, на которых конвертер поворачивается вокруг горизонтальной оси.

Стойкость днища бессемеровского конвертера составляет 15-25 плавов, томасовского 50-100 плавов, после чего их заменяют. Стойкость остальной футеровки: у томасовского конвертера 250-400 плавов, у бессемеровского 1300-2000 плавов [8].

**Плавка в бессемеровском конвертере.** В конвертер заливают бессемеровский чугун (0,7-1,25 % Si; 0,5-0,8 % Mn; 3,8-4,4 % C; < 0,06 % P; < 0,06 % S) при температуре 1250-1300 °С и продувают его воздухом в течение 10-15 мин. За время продувки окисляются углерод, кремний и марганец чугуна и из образующихся окислов формируется кислый шлак.

Железо, кремний и марганец окисляются кислородом [8].

Температура металла увеличивается и начинает затем выгорать углерод. Это сопровождается выделением из горловины конвертера пламени, образующегося от догорания СО:



К концу продувки пламя спадает, и можно приступать к доводке металла и его раскислению.

Недостающее количество углерода вводится с ферромарганцем, содержащем до 7 % С.[8].

Общая длительность плавки составляет 20-30 мин; поскольку шлак кислый (55-65 % SiO<sub>2</sub>; 15-25 % FeO; 15-20 % MnO), при плавке не удаляются сера и фосфор.

**Плавка в томасовском конвертере.** В конвертер для образования основного шлака загружают известь (12-18 % от массы металла), заливают томасовский чугун (1,6-2,0 % P; 0,2-0,6 % Si, 0,8-1,3 % Mn; < 0,08 % S; 2,8-3,3 % C), имеющий температуру 1180-1250 °С, и ведут продувку воздухом в

течение 16-22 мин. За это время окисляются углерод, марганец и кремний; в формирующийся основной шлак удаляются фосфор и сера. Продувку заканчивают, когда содержание фосфора в металле снизится до 0,05-0,07 %, после чего металл выпускают в ковш, куда предварительно вводят раскислители.

Общая длительность плавки составляет 25-40 мин. Состав конечного шлака, %: 16-24  $P_2O_5$ , 42-45 CaO, 5-10  $SiO_2$ , 8-15 % FeO, 7-10 % MnO; благодаря высокому содержанию  $P_2O_5$  этот шлак используют в качестве удобрения [8].

Достоинства бессемеровского и томасовского процессов - высокая производительность, простота устройства конвертера, отсутствие необходимости применять топливо, малый расход огнеупоров. Недостаток - повышенное содержание азота в стали, что сказывается на повышенной хрупкости и склонности стали к старению.

В период с 1955 по 1975 гг. бессемеровский и томасовский процессы и их разновидности были вытеснены кислородно-конвертерными процессами.

### **Кислородно-конвертерный процесс производства стали.**

Кислородно-конвертерный процесс - это выплавка стали из жидкого чугуна с добавкой лома в конвертере с основной футеровкой и продувкой кислородом сверху через водоохлаждаемую фурму.

Этот способ является в настоящее время главным в массовом производстве стали в мире. Он сохранил достоинства бессемеровского и томасовского способов переработки чугунов:

- передел в сталь идет без расхода топлива - необходимое для разогрева металла тепло выделяется за счет экзотермических реакций выгорания примесей чугуна;
- высокая производительность;
- низкие капитальные и эксплуатационные расходы.

При этом устранены недостатки конвертеров с продувкой чугуна воздухом: насыщение стали азотом, необходимость иметь в чугунах повышенную концентрацию элементов-теплоносителей (кремния или фосфора). В кислородных конвертерах можно перерабатывать любые типы чугунов.

**Устройство кислородного конвертера.** Конвертер представляет собой сосуд грушевидной формы (рис. 146), изготовленный из стального листа толщиной 50-100 мм, футерованный изнутри огнеупорным материалом. Цилиндрическая часть конвертера охвачена опорным кольцом. К кольцу крепятся цапфы, на которых конвертер вращается вокруг горизонтальной оси. На одной из цапф (а на большегрузных конвертерах - на обеих цапфах) укреплено зубчатое колесо, связанное с приводом вращения конвертера. В шлемной части конвертера находится летка для выпуска стали [8].

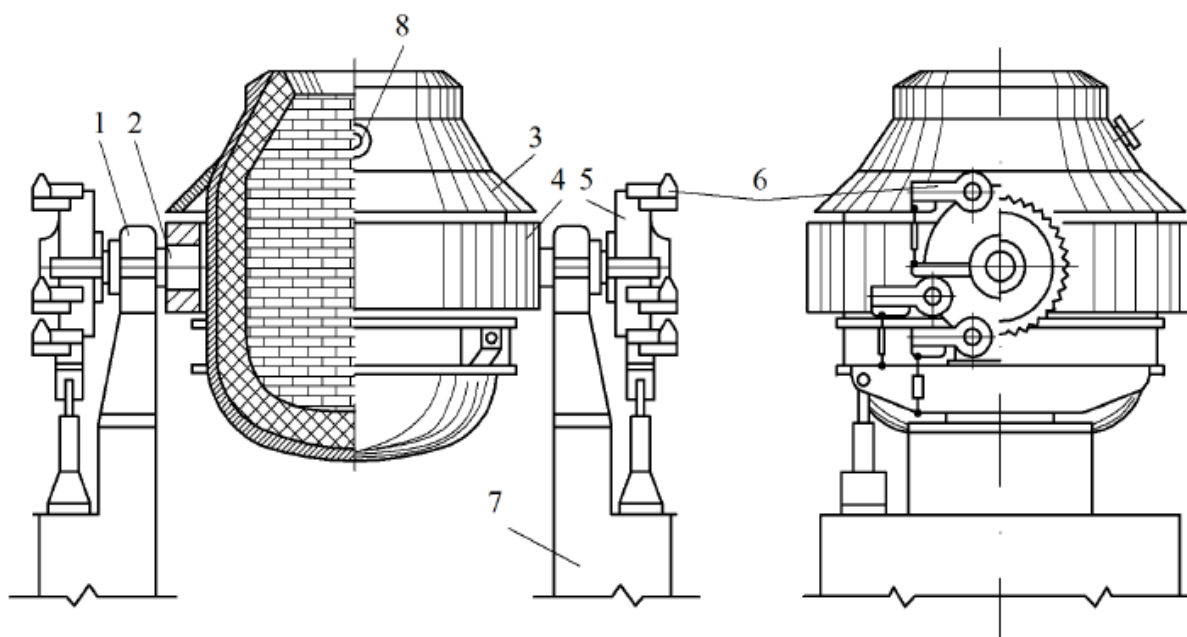


Рис. 146. Кислородный конвертер: 1 - опорный подшипник; 2 - цапфа; 3 - кожух; 4 - опорное кольцо; 5 - ведомое колесо; 6 - электродвигатель; 7 - опорная станина; 8 –летка

Футеровка конвертера двухслойная. Арматурный слой, примыкающий к кожуху, толщиной около 200 мм, делают из магнезитового кирпича. Рабочий слой толщиной до 700 мм изготавливают из смолодоломитомагнезитового



кирпича (60-70 % MgO). Стойкость кладки 400-800 плавов. Современные конвертеры имеют диаметр 6-7 и высоту 9-10 м. Вместимость таких конвертеров достигает 300-400 т (глубина металлической ванны 1,7 м). Подача кислорода производится вертикальной водоохлаждаемой фурмой длиной до 25 м. К нижней части трубы приваривается медная головка с одним или несколькими соплами. Головка фурмы находится в зоне наиболее высоких температур (до 2600 °С), поэтому ее выполняют из меди, которая благодаря высокой теплопроводности обеспечивает быстрый отвод и передачу охлаждающей воде поглощаемого тепла. Высоту фурмы над ванной можно изменять по ходу плавки; обычно она увеличивается при росте емкости конвертера и находится в пределах 0,8-3,3 м от уровня ванны в спокойном состоянии [8].

***Шихтовые материалы.*** Основным шихтовым материалом кислородно-конвертерного процесса является жидкий чугун. Состав чугунов, перерабатываемых на разных заводах изменяется в широких пределах, %: 3,7-4,6 С; 0,4-2,6 Mn; 0,3-2,0 Si; 0,02-0,08 S; < 0,3 P.

При излишне высоком содержании кремния возрастает расход извести для ошлакования образующейся SiO<sub>2</sub> и увеличивается количество шлака в конвертере, что ведет к росту потерь железа со шлаком и способствует появлению выбросов; понижается также стойкость футеровки конвертера.

Содержание марганца в чугунах находится обычно в пределах 0,7-1,1 %; при более низком его содержании существенно замедляется шлакообразование, т.к. в первичных шлаках будет содержаться мало закиси марганца, ускоряющей растворение извести.

Содержание фосфора в чугуне не должно превышать 0,2-0,3 %, поскольку при большем его содержании необходимо осуществлять промежуточный слив шлака во время продувки и наведение нового, что снижает производительность конвертера.

Поскольку десульфурация металла при плавке в кислородном конвертере протекает недостаточно полно, чугун должен содержать менее 0,04-0,06 % серы [8].

Основные шлакообразующие материалы - это известь и плавленый шпат.

**Технология плавки.** Кислородно-конвертерный процесс осуществляется следующим образом (рис. 147).

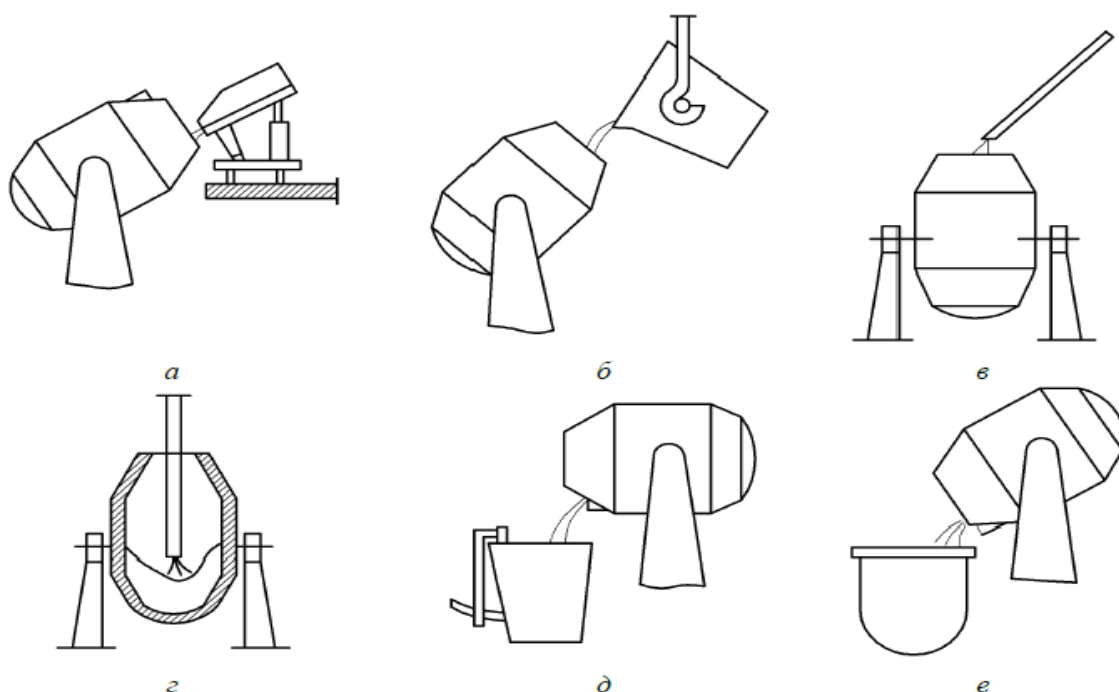


Рис. 147. Порядок операций кислородно-конвертерной плавки

В освободившийся от металла и шлака предыдущего цикла конвертер при помощи крана загружают стальной лом (рис. 147, а), затем заливают чугун (рис. 147, б); загружают шлакообразующие (рис. 147, в); опускают кислородную фурму и начинают продувку металла (рис. 147, г); после окончания продувки (16-18 мин) выпускают сталь (рис. 147, д) и шлак (рис. 147, е). Общая продолжительность цикла 50-60 мин [8].

За счет вводимого кислорода окисляются избыточный углерод, а также кремний, марганец и небольшое количество железа, причем окисление крем-

ния и марганца заканчивается в первые 3-4 мин продувки. Из образующихся окислов и загружаемой в конвертер извести и других сыпучих формируется шлак. Основность его по мере растворения извести увеличивается и к концу продувки составляет 2,5-3,7. В течение всей продувки из металла удаляются фосфор и сера.

Образующиеся при окислении пузырьки СО вспенивают металл и шлак, усиливая их циркуляцию, что ускоряет процессы окисления, дефосфорации, десульфурации и нагрева металла. Вместе с пузырьками окиси углерода из металла удаляются растворенные в нем вредные газы - водород и азот. В результате протекания экзотермических реакций температура металла растет с 1300 до 1650 °С, что вполне достаточно для расплавления стального лома.

Газообразные продукты окисления углерода (СО и немного СО<sub>2</sub>) покидают конвертер через горловину, образуя высокотемпературный поток отходящих газов, в котором содержится много (до 250 г/м<sup>3</sup>) мелкодисперсных частиц Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Количество отходящих газов составляет 70-80 м<sup>3</sup>/т стали.

На основании результатов анализа металла и измерения его температуры плавку корректируют по химическому составу или выпускают сталь в ковш через летку, одновременно вводя в него раскислители и легирующие добавки.

**Выплавка легированных сталей** в кислородных конвертерах сопряжена со значительными трудностями из-за окисления большинства легирующих элементов, а при введении их в ковш возможно значительное охлаждение жидкой стали и неравномерное распределение элементов в объеме жидкого металла. Не представляет сложности легирование никелем, медью и молибденом из-за их меньшего сродства к кислороду, чем у железа. Легирование другими элементами осуществляют в ковше следующими методами:

- легирование твердыми ферросплавами, которые вводят в ковш во время выпуска стали из конвертера (иногда часть ферросплавов загружают

на дно ковша перед выпуском и для ускорения их растворения подогревают газовой горелкой);

- легирование жидкими ферросплавами (предварительно расплавленными в дуговой или индукционной печи), при выпуске стали из конвертера их заливают в ковш;

- легирование экзотермическими ферросплавами, которые в виде брикетов вводят в ковш перед выпуском в него стали (брикеты состоят из измельченных феррохрома, ферромарганца и др., окислителей, восстановителей и связующих).

***Потери металла при продувке*** состоят из потерь с бурым дымом, с выбросами и выносом капель металла с отходящими газами, в виде неизбежного угара примесей, с окислами железа шлака и в виде корольков в шлаке.

Неизбежный угар примесей. В процессе продувки окисляется весь кремний, большая часть углерода и марганца чугуна, а также часть железа. Обычно неизбежный угар составляет 5-6 % от массы продуваемого чугуна.

При использовании стального лома неизбежный угар снижается, т.к. содержание окисляющихся элементов в ломе меньше чем в чугуне.

Выбросы и вынос капель металла наблюдаются в период наиболее интенсивного окисления углерода. Для ликвидации возникших выбросов снижают интенсивность подачи кислорода, что уменьшает интенсивность образования пузырьков СО и вспенивание ванны или прибегают к кратковременному подъему фурмы. Общие потери металла с выбросами составляют около 1 %.

### **3.27.ВЫПЛАВКА СТАЛИ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ДУГОВЫХ ПЕЧАХ**

В электрических печах плавку стали производят за счет теплоты, получаемой в результате преобразования электрической энергии в тепловую.

В настоящее время для выплавки стали применяют дуговые электропечи, открытые и вакуумные индукционные печи. Основное количество электростали выплавляют в дуговых печах. Основные достоинства электропечей заключаются в возможности: быстро нагреть металл, что позволяет вводить в печь большие количества легирующих добавок; иметь в печи восстановительную атмосферу и безокислительные шлаки, что предопределяет малый угар легирующих элементов; плавно и точно регулировать температуру металла; более полно, чем в других печах раскислять металл, получая его с низким содержанием неметаллических включений; получать сталь с низким содержанием серы.

Современные дуговые электросталеплавильные печи состоят из сложного комплекса механического и электрического оборудования. Дуговые электропечи питаются электроэнергией через понижающий трансформатор, входящий в обязательный комплекс электрооборудования установки. Правильное соотношение между размерами печи и мощностью трансформатора - важнейший фактор, определяющий основные показатели работы дуговых электрических печей: производительность, удельный расход электрической энергии и качество выплавляемого металла. В литейных цехах основную массу стали выплавляют в дуговых печах емкостью 0,5; 1,5; 3,0; 6,0; 12,0 реже 25,0 т. В металлургии стали используют электродуговые печи емкостью до 200 т и более.

Устройство дуговой электрической печипоказано на рис. 148.

Экономическая эффективность работы электрической печи в значительной степени определяется стойкостью огнеупорной футеровки.

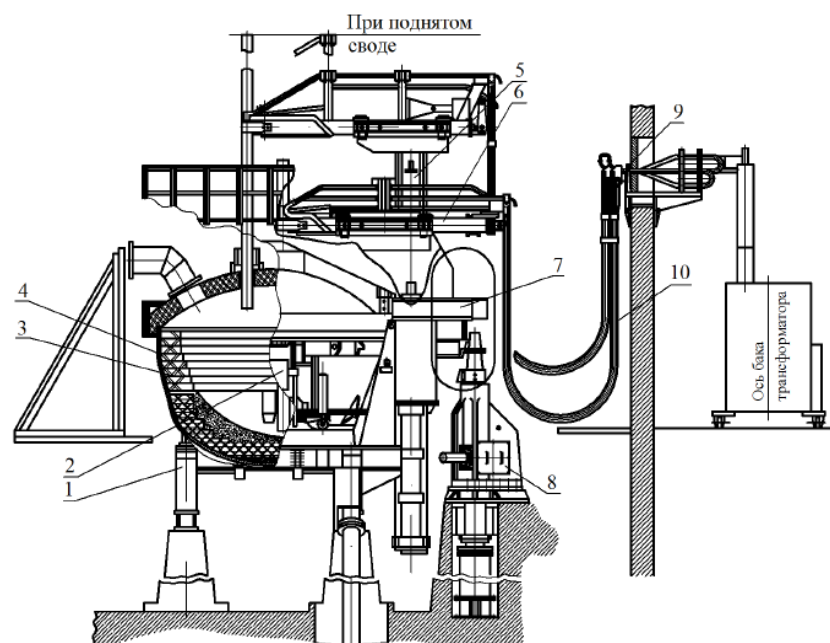


Рис. 148. Дуговая электропечь: 1 - механизм наклона; 2 - дверца рабочего окна; 3 - футеровка; 4 - каркас; 5 - стойка; 6 - электрододержатель; 7 - траверса; 8 - механизм подъема и поворота свода; 9 - шинопровод; 10 - кабельная гирлянда

Под и откосы футеруются периклазовыми ( $MgO$ ) материалами: кирпичом и порошком (с добавкой в качестве связки 10 % каменноугольной смолы). Свод печи изготавливают из периклазо- хромитовых, муллитовых огнеупоров, а отверстия для электродов выкладывают иногда из высокоглиноземистых кирпичей, обладающих высоким электрическим сопротивлением. В качестве теплоизоляционных материалов применяют шамотные легковесные кирпичи, порошок или асбест [8].

В цехах крупносерийного конвейерного производства обычно устанавливают 3-4 печи обеспечивающие металлом один конвейер.

По способу загрузки, печи бывают двух типов: с выкатной ванной и с поворотным сводом. Шихта содержит 55-65 % стального лома и примерно 40 % возврата, 2-3 % передельного чугуна.

Различают основной и кислый процессы. В печах с основной футеровкой получают около 35 % всей стали, выплавляемой в электропечах для фа-

сонного литья; из них 20 % на долю высокомарганцовистых сталей, 5 % хромистых и хромо-никелевых сталей, 10 % - ответственные марки углеродистых и низколегированных сталей.

***Выплавка стали в основных дуговых печах.*** Технология плавки в основной ДСП имеет две разновидности: плавка с окислением примесей и плавка без окисления, т.е. методом переплава.

***Плавка с окислением примесей.*** В процессе плавки с окислением присаживается железная руда или вводится газообразный кислород для окисления Si, Mn, P и избыточного углерода. Для снижения содержания газов и неметаллических включений создается эффект кипения. Задача плавки с окислением - удаление из металла фосфора, серы, газов, неметаллических включений.

Периоды плавки: *заправка; завалка; плавление; окислительный период; восстановительный период; выпуск стали.*

*Заправка* печи - исправление изношенных и поврежденных участков футеровки пода. На поврежденные места подины и откосов забрасывают магнезитовый порошок или же магнезитовый порошок смешанный с каменноугольным пеком. Длительность заправки 10-15 мин.

*Завалка* шихты производится бадьями или корзинами. На дно корзины - мелочь, чтобы защитить подину от ударов, в центре - крупный лом, по периферии - средний и сверху - оставшийся мелкий лом. Плотная укладка шихты повышает ее проводимость, обеспечивая устойчивое горение дуги, ускоряя плавление.

*Плавление* - после окончания завалки электроды опускают почти до касания с шихтой и включают ток. Под действием высокой температуры дуги шихта под электродами плавится, жидкий металл стекает вниз, накапливаясь в центральной части подины. Электроды постепенно опускаются, проплавляя в шихте «колодцы» и достигая крайнего нижнего положения.

В дальнейшем, по мере увеличения количества жидкого металла электроды поднимаются, т.к. автоматические регуляторы поддерживают длину дуги постоянной.

Когда электроды проплавят в шихте три «колодца», свод и электроды приподнимают, печь поворачивают сначала в одну сторону на 40°, проплавляют «колодцы» в новых местах, а затем поворачивают печь в другую сторону на 80°. Таким образом, проплавляют девять колодцев, что сокращает время расплавления шихты.

В проплавленные колодцы порциями присаживают известь, чтобы обеспечить раннее образование шлака и тем самым предохранить расплав от газопоглощения и науглероживания электродами.

Во время плавления происходит окисление составляющих шихты, формируется шлак, частично удаляется фосфор.

Продолжительность периода плавления зависит от мощности трансформатора и составляет от 1,1 до 3,0 ч. Расход электроэнергии за время плавления 400-480 кВтч/т.

К концу расплавления шихты шлак содержит, %: 45 CaO; 26 SiO<sub>2</sub>; 11 MgO; 3,5 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; 5,5 MnO; 4,5 FeO; 0,8 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; 0,25 P<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Основность шлака равна 1,7.

В *окислительный период* плавки снижают содержание фосфора до 0,015-0,020 %; уменьшают содержание водорода, азота и неметаллических включений, нагревают металл до температуры, большей температуры выпуска стали.

После отбора первой пробы металла, присаживают в печь, прокаленную железную руду (~ 1 % от усадки) и через 10 мин скачивают 60-70 % шлака (со шлаком удаляется окисленный фосфор). В печь присаживают 1-1,5 % от веса садки свежееобожженной извести и нагревают металл до 1540 °С, снова присаживают железную руду и известь, затем спускают шлак. Длительность периода 30-90 мин.



**Восстановительный период** начинается после скачивания окислительного и наводки известкового шлака. Проводят десульфурацию, доводят химический состав до заданного, создают благоприятные условия для раскисления, удаления газов и неметаллических включений. Все это решается параллельно. Реакции закиси железа с кремнием, марганцем и алюминием являются источником загрязнения стали, что ухудшает пластические свойства металла. Раскисление металла возможно двумя методами:

- присадкой раскислителей в металл;
- присадкой раскислителей на шлак с целью раскисления последнего.

В электрической печи возможно снижение (FeO) до 0,5 %, следовательно, в металле будет не более 0,005 % кислорода [10].

Длительность восстановительного периода 40-100 мин. За 10-20 мин до выпуска проводят, если необходимо корректировку сплава, на содержание кремния, вводя ферросилиций. Конечное раскисление проводят алюминием, вводя его в ковш в количестве 0,4-1,0 кг алюминия на 1 т стали. По ходу плавки в экспресс-лаборатории контролируют изменение состава металла и шлака, измеряют температуру металла термомпарами погружения.

Продолжительность периодов плавки, ч: плавления 1,1-3,0; окисления 0,5-1,5; восстановления от 40 до 100 мин.

**Плавка без окисления примесей.** Шихта составляется из отходов с низким содержанием фосфора. В процессе плавки руда или кислород не присутствуют, кипение металла отсутствует. Этот метод наиболее рационален при выплавке легированных сталей с использованием в шихте легированного лома и отходов. Отсутствие окислительного периода позволяет в максимальной степени сохранить легирующие элементы, содержащиеся в шихте. Для получения заданного состава требуются минимальные присадки легирующих добавок, компенсирующие угар при расплавлении. Ориентировочно величины угара при расплавлении составляют:

Элемент	Al	T	Si	V	Mn	Cr	W
Угар, %	100	80-90	40-100	15-20	15-25	10-15	5-15

После расплавления шлак, как правило, не скачивают. Раскисление, десульфурацию и легирование проводят так же, как при плавке с окислением примесей.

**Выплавка стали в кислых дуговых печах.** Кислая футеровка обладает большей термостойкостью по сравнению с основной, что является важным ее преимуществом в условиях литейных цехов, работающих с перерывами в одну или в две смены.

Кроме того, пониженная отражательная способность кислого шлака уменьшает тепловую нагрузку на футеровку. По этим причинам стойкость футеровки кислых дуговых печей выше, чем основных. Теплопроводность кислых огнеупоров ниже, чем основных, что способствует уменьшению тепловых потерь. Стоимость кислых огнеупоров в 2-2,5 раза ниже, чем основных. Влияние шлака на металл в кислых печах менее существенно, чем в основных. Поэтому глубина ванны в кислых печах больше, чем в основных при том же диаметре ванны. В результате этого тепловой КПД кислых печей выше, чем основных. Этим объясняется широкое использование кислых дуговых печей в сталелитейных цехах.

Кислый процесс более производительный, т.к. отсутствуют операции дефосфорации и десульфурации, и широко применяется для углеродистых и низколегированных сталей.

Состав шихты следует подбирать таким образом, чтобы содержание фосфора и серы в ней было ниже, чем в готовой стали на 0,01 %, т.к. удалить их в процессе плавки не удастся.

Шихту рассчитывают так, чтобы содержание углерода в металле по расплавлению превышало среднее содержание углерода марочного состава на 0,1-0,2 % (для повышения содержания углерода, вводят кокс, электродный бой или чугун).

Марганец и железо восстанавливаются только из окислов, растворимых в шлаке, а кремний - как из  $\text{SiO}_2$  растворенного в шлаке, так из  $\text{SiO}_2$  футеровки.

Период расплавления сопровождается окислением кремния, марганца, железа и углерода. Доля образующегося при этом шлака невелика, поэтому для улучшения защиты расплавляемого металла от окисления и растворения газов объем шлака увеличивают добавкой сухого песка, шлака предыдущей плавки или формовочной смеси. В конце периода расплавления шлак имеет следующий состав, %: 40-50  $\text{SiO}_2$ ; 15-30  $\text{FeO}$ ; 10-30  $\text{MnO}$ ; 2-6  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ; 5-15 и прочие оксиды.

В окислительный период в кислой электропечи происходит нагрев металла до необходимой температуры, окисление избыточного углерода и частичная дегазация металла. Углерод - окисляется за счет закиси железа, присутствующей в шлаке. В случае вялого кипения ванны, в печь присаживают железную руду небольшими порциями (~ 0,2 % от массы металла) [8].

Кипение металла способствует выравниванию температуры во всем объеме ванны и удалению газов. Затем шлак сгущают присадкой песка и начинают восстановительный процесс.

Раскисление проводят в две стадии силикомарганцем или Fe-Si, а при выпуске стали - алюминием.

Главный недостаток кислых печей - невозможность удаления серы и фосфора из металла.

### **3.28.ВЫПЛАВКА СТАЛИ В ОТКРЫТЫХ ИНДУКЦИОННЫХ ПЕЧАХ. ЭЛЕКТРОШЛАКОВЫЙ ПЕРЕПЛАВ**

Индукционные печи (см. рис. 143, в) представляют собой тигель из огнеупорного материала (кислого, основного или нейтрального), окруженного витками медного, полого, водоохлаждаемого индуктора, по которому течет

ток. Вода, охлаждающая индуктор, отводит теплоту, которая возникает в нем в результате потерь от проходящего по нему тока, а также теплоту, передаваемую индуктору от нагреваемого металла. Ток высокой, средней или промышленной (50 Гц) частоты напряжением 150-2000 В подводится к индуктору и создает вокруг него переменное магнитное поле. Этот магнитный поток в шихте (вторичная цепь) вызывает появление электродвижущей силы, под влиянием которой в металле возникают переменные токи, нагревающие и расплавляющие металл. На поверхности металла плотность тока достигает максимума и снижается от краев к середине тигля. «Вытеснение» тока на поверхность металла обуславливает явление «поверхностного» эффекта (куполообразное поднятие уровня жидкого металла). Чем выше частота тока, тем больше этот эффект, тем большей высоты должны быть тигли.

Заправка осуществляется после осмотра тигля перед каждой плавкой. Завалка шихты производится в таком порядке [16]: на дно тигля закладывают стружку в количестве до 4 % от массы садки, на стружку - мелкую часть шихты, а на мелочь - ферросплавы. После этого производят завалку остальной части шихты. Крупные куски помещают вертикально и как можно плотнее. Куски шихты не должны быть выше витков индуктора, чтобы интенсивнее проходила плавка. После окончания завалки включают печь в работу. В процессе расплавления необходимо следить за тем, чтобы не было зависания кусков шихты. Если есть зависшие куски их надо осадить. Время расплавления шихты зависит от компактной ее укладки.

Процесс выплавки стали сводится к завалке в тигель строго подобранной шихты, расплавлению, раскислению и выпуску стали в ковш.

Отличительной чертой плавки в индукционной печи является наличие в ней холодного неактивного и вязкого шлака. Температура шлака при индукционной плавке обычно ниже температуры металла, поэтому шлак вследствие самой природы процесса в отличие от других сталеплавильных

процессов играет здесь относительно пассивную роль. Здесь обменные металлургические реакции между шлаком и металлом также имеют ограниченное значение. При индукционной плавке характер процесса обуславливается только особенностями контакта и взаимодействия расплава с футеровкой и атмосферой печи[11].

Существенным физико-химическим преимуществом процесса является непрерывное перемешивание металла под воздействием магнитных силовых потоков, что способствует ускорению процессов диффузии, дегазации и выносу неметаллических включений из стали в шлак. Температура шлака в печи обычно ниже температуры металла, поэтому рафинирование стали в этих печах затруднено и в них лучше переплавлять чистую от вредных примесей шихту. В качестве шихты используют отходы сталей (прокат, обрезь, мелкие литники и др.). При выплавке стали в кислой индукционной печи, шихту составляют из неокисленных материалов с минимальным содержанием серы и фосфора. При выплавке в основных печах требования к шихте менее жесткие, т.к. можно провести процессы дефосфорации и десульфурации.

При основной плавке на мелкую шихту засыпают около 5 % извести. После расплавления основной массы шихты (80-95 %), берут пробу металла на химический анализ. При плавке в основном тигле происходит частичная дефосфорация металла в ходе расплавления шихты. Для предотвращения восстановления фосфора шлак скачивают и наводят новый. После расплавления шихты подводимую мощность снижают до 30-40 % от максимальной мощности, стараясь не допустить перегрева, и приступают к раскислению и легированию [8].

Ферросплавы присаживают в следующем порядке: основное количество Fe-W, Fe-Cr, Fe-Mo вносят в завалку. При корректировке их добавляют за 20 мин до выпуска стали. Fe-V, Fe-Mn, Fe-Si присаживают за 7-10 мин до выпуска. Fe-V - в последнюю очередь для уменьшения угара. Аллюминий и

титан вводят перед выпуском или в ковш. Угар W ~ 2 %; Mn, Cr, V - 5-10 %; Si - 10-15 %, Ti ~ 70 % (вводят непосредственно в ковш).

В табл. 85 представлены типы индукционных печей, наиболее часто применяемые в литейных цехах.

Таблица 85

Типы и характеристики индукционных печей типа ИСТ [16]

Емкость тигля, т	Мощность трансформатора, кВт	Расчетная производительность, т/ч
0,06	0,10	0,055
0,06	0,16	0,100
0,16	0,16	0,106
0,16	0,25	0,159
0,1	0,32	0,212
0,25	0,32	0,224
0,25	0,50	0,380
0,40	0,32	0,240
0,40	0,50	0,465
1,0	0,80	0,710
2,5	2,40	1,750
6,0	2,40	2,100

Индукционные печи являются экономичными плавильными агрегатами, они позволяют выплавлять средне и высоколегированные стали при минимальных потерях легирующих элементов.

Следует иметь в виду, что при выплавке стали, содержащей большое количество вольфрама, ферровольфрам вводят в тигель при наличии в нем полукислого магнезиально-кремнеземистого или кислого шлака. Это объясняется тем, что окисел вольфрама  $WO_3$  является кислотным и при основном шлаке, в последний перейдет значительное количество дорогостоящего вольфрама.

Для предупреждения потерь такого легкоокисляющегося элемента, как титан, на поверхности наводится шлак из окиси кальция и кремнезема при соотношении  $\text{CaO} : \text{SiO}_2 = 3-4$ .

Интересной особенностью процесса в отличие от мартеновской плавки и плавки в электродуговых печах является также и то, что температура металла достигает максимальных значений не у поверхности, а в нижней части тигля. Поэтому расплавление тугоплавких и тяжелых легирующих здесь происходит быстрее и с меньшими потерями, а в стали они распределяются равномернее за относительно более короткий промежуток времени. Этому в значительной степени способствует и электродинамическое перемешивание. Индукционная плавка, с точки зрения возможности регулирования температуры металла, является наиболее управляемой [11].

Относительная легкость управления температурным режимом плавки способствует протеканию многих физико-химических процессов в желаемом направлении, что особенно важно при выплавке специальных сталей и сплавов для сложных и тонкостенных отливок. Основной тенденцией развития электроплавильных индукционных печей является увеличение их емкости. В связи с этим изыскивают соответствующую конструкцию агрегата, огнеупоры, выбирают рациональную электрическую мощность и т.д.

***Особенности технологии вакуумной индукционной плавки.*** В настоящее время многие отливки нельзя получить, не применяя вакуумной плавки или внепечной вакуумной обработки расплавленного металла. Это прежде всего относится к большой номенклатуре фасонных отливок из жаропрочных, нержавеющих, магнитных и других сталей. Жаропрочные сплавы, выплавленные в вакууме, как правило, характеризуются значительно большей, чем выплавленные в обычных условиях, длительной прочностью. Применение вакуума при выплавке нержавеющих сталей

существенно повышает их антикоррозионную стойкость и стойкость против межкристаллитной коррозии. Улучшаются свойства трансформаторной и магнитной стали при их выплавке в вакууме.

Вакуумирование позволяет значительно улучшить литейные свойства специальных сплавов и высоколегированных сталей, склонных из-за наличия в них легкоокисляющихся элементов к окислению и образованию значительного количества окисных плен.

Качество стали, выплавленной и разлитой в вакууме, выше, чем выплавленной обычными способами, но подвергнутой впоследствии вакуумированию. Плавку в вакууме можно производить в индукционных, электродуговых и электроннолучевых печах. Значительное распространение в производстве получают вакуумные высокочастотные печи для выплавки сталей и сплавов с очень малым содержанием газов и вредных примесей (отличающихся высокой упругостью паров).

Технологическая схема индукционно-вакуумной печи приведена на рис. 143, *е*. Периоды плавки: загрузка шихты; откачка печи до рабочего давления; расплавление; доводка и рафинирование металла; выпуск; чистка тигля.

**Загрузка шихты.** Особые требования к чистоте поверхности кусков шихты. Для удаления окалины с поверхности кусков их подвергают дробеструйной очистке или очистке в галтовочном барабане. Шихта должна быть строго известного состава. Ферросплавы прокаливают для удаления адсорбированной влаги.

**Расплавление.** Печи закрывают и включают систему откачивания воздуха (создается разрежение  $3 \cdot 10^{-3}$  мм.рт.ст.), включают ток.

При бурном закипании металла подводимую мощность снижают. Время плавления составляет  $\sim 75$  % всего времени плавки.

**Доводка металла.** Для десульфурации на дно тигля загружают шлакообразующую смесь (90 % CaO + 10 % CaF<sub>2</sub>). Десульфурация проходит



во время плавления и уже через 2-5 мин после расплавления степень десульфурации составляет 70-80 %. Конечное содержание серы равно 0,002-0,003 %. Время выдержки металла в вакууме 20-30 мин. Время плавки около 6 ч на твердой шихте.

Небольшие размеры индукционных печей дают возможность их размещения в герметичных камерах относительно небольшого объема, в которых можно осуществлять плавление металла при разрежении. Разработаны конструкции установок периодического или непрерывного действия. На рис. 149 приведена схема двух вариантов установок вакуумной индукционной плавки периодического действия [7].

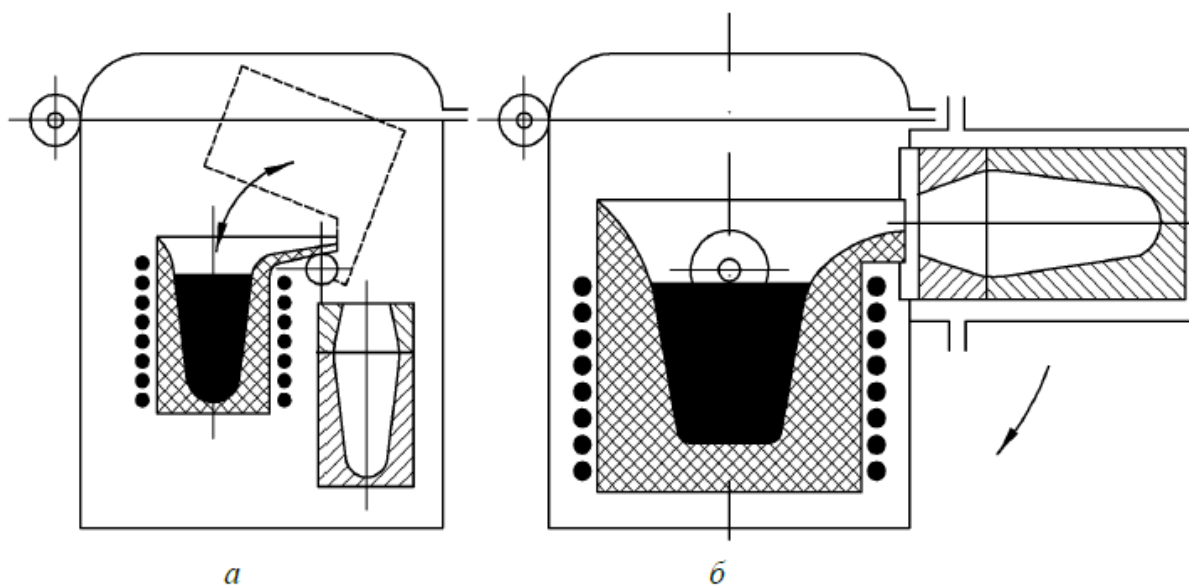


Рис. 149. Схема вакуумных индукционных печей: *а* - с наклоняющимся тиглем; *б* - поворотная с закрепленной изложницей

Емкость печей периодических установок не превышает нескольких сот килограммов. [11].

Выплавленный в вакуумной печи металл разливают также в вакууме, такой металл отличается высокой жидкотекучестью (из-за отсутствия окисных пленок на поверхности металла).

**Электрошлаковый переплав.** Процесс электрошлакового переплава (ЭШП) был разработан в институте электросварки им. Е.О. Патона. Практическое распространение метода началось с 1958 г., когда на Запорожском металлургическом заводе вступила в строй первая в мире промышленная установка ЭШП.

На установках одних типов переплав осуществляют с расходуемым электродом, на других - с нерасходуемым электродом. Существо процесса остается при этом неизменным: капли металла проходят через слой жидкого шлака. Нерасходуемые электроды, используемые для поддержания требуемой температуры в шлаковой ванне, бывают графитовые или металлические водоохлаждаемые.

Расходуемые электроды получают, выплавляя предварительно металл нужного состава в обычном сталеплавильном агрегате (чаще в дуговой сталеплавильной печи) и разливая его на слитки или непрерывнолитую заготовку [11].

Метод электрошлакового переплава используют для получения качественных сталей. Переплавляемая сталь, полученная в обычных печах, в виде расходуемого электрода погружается в ванну жидкого электропроводного шлака, который наводят в водоохлаждаемом кристаллизаторе путем расплавления шлаковой смеси непосредственно в кристаллизаторе или заливкой жидкого шлака, приготовленного в специальной печи.

Переменный или постоянный электрический ток, пропускаемый по электроду и шлаку, поддерживает шлак в расплавленном состоянии ( $T = 1600-1800\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), вследствие чего расходуемый электрод плавится. Капли металла, стекающие с конца электрода, проходят через слой химически активного шлака, очищаются от неметаллических включений и вредных примесей. Под слоем шлака накапливается ванна жидкого металла, который постоянно затвердевает в виде слитка. Процесс может осуществляться

периодически, что позволяет применять его для отдельных отливок или непрерывно для получения слитков. Сплав может кристаллизоваться как в кристаллизаторе, так и в форме. В процессе переплава на боковой поверхности слитка образуется шлаковая корочка (гарнисаж), обеспечивающая естественную тепловую и электрическую изоляцию от кристаллизатора и гладкую чистую поверхность слитка. Кристаллизация слитка (отливки) исключает развитие в затвердевшем металле ликвации, горячих трещин, усадочной раковины, осевой пористости, уменьшается количество неметаллических включений. Десульфурация и дефосфорация достигают 60-85 % [10].

Методом ЭШП можно получать слитки массой 10, 20 т и более. В Германии работает крупнейшая печь ЭШП для слитков массой 160 т со скоростью наплавки слитка 2800-3500 кг/ч.

Недостатком ЭШП является невозможность организовать в открытом агрегате удаление водорода. В настоящее время разрабатываются конструкции установок, позволяющих организовать электрошлаковый переплав в герметизированной камере.

### **3.29. ПОЛУЧЕНИЕ И ПРИМЕНЕНИЕ ОТЛИВОК ИЗ ЛЕГИРОВАННЫХ СТАЛЕЙ**

#### ***Получение и применение отливок из кремнистых сталей.***

Низколегированные стали применяют как конструкционный материал, выдерживающий не только статические, но и динамические нагрузки. Высоколегированные стали применяются как коррозионностойкие, жаростойкие, жаропрочные и износостойкие стали. Среди отливок, проявляющих приведенные выше свойства, можно назвать турбинные лопатки, клапаны гидравлических прессов, арматуру крекинг-установок, т.е. детали, подвергающиеся ударным нагрузкам: детали, работающие в морской воде, гребные винты; детали, работающие под нагрузкой при температурах до

700 °С; детали установок для химической, нефтяной и автомобильной промышленности; детали двигателей авиационной промышленности и т. д.

Кремний до 5 % растворяется в цементите, что способствует повышению прокаливаемости сталей, в хромистых сталях кремний не способствует прокаливаемости, т.к. не растворяется в карбидах хрома. В зависимости от содержания кремния стали можно разделить на три группы - низко-, средне- и высоколегированные.

Низколегированная кремнистая сталь должна иметь определенное соотношение по содержанию кремния и углерода, чтобы обеспечить при нагреве в условиях термообработки аустенитное строение, а при последующем охлаждении - соответствующую степень дисперсности продуктов распада аустенита. При одновременном увеличении содержания С и Si сверх определенных критических значений возможны распад карбидов с выделением свободного графита и получение так называемого черного излома в стали с низкими ее механическими свойствами. Наиболее часто применяют сталь следующего химического состава [10], %: 0,1-0,2 С; 1,0 Si и 0,4-0,5 С; 1,4-1,6 Si.

Низкоуглеродистая кремнистая сталь имеет повышенный предел текучести и прочности по сравнению с аналогичной углеродистой сталью, а наличие феррита в структуре обеспечивает хорошую ее пластичность. При одинаковом пределе прочности пластичность и ударная вязкость у кремнистой стали примерно в 1,5 раза больше, чем у углеродистой.

При изменении температуры механические свойства изменяются так же, как у углеродистой стали, сохраняя несколько больше величину пластичности. Высокоуглеродистая кремнистая сталь имеет различные в зависимости от термообработки свойства. Так, двойная нормализация с последующим отжигом увеличивает предел текучести и пластичность стали по сравнению с отливками, подвергающимися только отжигу [18, 10] (рис.

150). Высокоуглеродистая кремнистая сталь характеризуется большим сопротивлением износу, особенно в пыльной атмосфере.

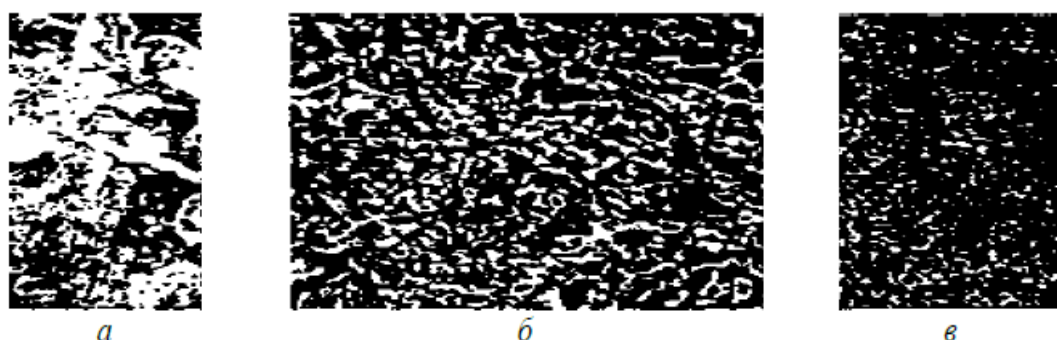


Рис. 150. Строение высокоуглеродистой кремнистой стали (0,46 % С; 1,48 % Si): *а* - отливка без термообработки (литая структура); *б* - отливка после нормализации; *в* - отливка после двойной нормализации и отжига

При увеличении содержания кремния до 3-5 % повышаются электросопротивление и магнитная проницаемость стали. Это является основным специальным свойством, которое определяет применение этих сталей для деталей электрических машин, работающих в условиях минимальных потерь на гистерезис и большой магнитной проницаемости.

При дальнейшем повышении содержания кремния образуется непрерывный ряд твердых растворов железа и кремния. Но как показывает рентгенографическое исследование литых Fe-Si сплавов при 12-14 % кремния, скачкообразно прекращается замещение атомов железа атомами кремния и образуются интерметаллические соединения типа  $Fe_mSi_n$  (силициды). При этом наблюдается значительное повышение антикоррозионных свойств. Высоколегированные кремнистые стали противостоят коррозии во всех кислотах, в том числе в соляной, при добавлении в сталь 3-4 % молибдена.

**Литейные свойства кремнистых сталей.** Повышение содержания кремния снижает температуру плавления стали, достигающую при 16-18 % Si и 0,5-0,6 % С около 1190 °С. Температура заливки кремнистых сталей колеблется

в широких пределах: от 1600 °С при 1 % Si и 0,1-0,2 % С до 1220-1270 °С при 16-18 % Si и 0,5-0,6 % С. При увеличении концентрации Si до 1,5 % линейная усадка стали возрастает до 2,5 %. При дальнейшем ее увеличении основное влияние на усадку оказывает углерод. При 0,25-0,4 % С и 15 % Si отливки склонны к образованию горячих трещин, при С = 0,4-0,65 % - к развитию усадочных раковин, а при С больше 0,65 % выделяется графит в виде спели, увеличивается пористость отливок, снижаются антикоррозионные свойства [10].

Повышение содержания Si значительно снижает теплопроводность стали, что увеличивает объем концентрированных усадочных раковин. В связи с трудностью удаления прибылей для высоколегированных кремнистых сталей применяют систему установки прибыли и питания отливки, аналогичную для отливок из ковкого чугуна, например, подвод стали к отливке через прибыль.

Основные трудности в производстве отливок из кремнистых сталей - получение отливок без напряжений и трещин. Чтобы не было напряжений и трещин, нужно уделять основное внимание правильной конструкции отливки, методам ее охлаждения в форме и после выбивки. Частым дефектом отливок из кремнистых сталей являются газовые раковины.

Повышение газосодержания в кремнистых сталях связано с большим поглощением водорода и азота, вносимых ферроматериалами, которые, как и шихта, требуют контроля по влажности и прокалке перед внесением в печь, а жидкая сталь не должна долго задерживаться в печи или в ковше. При производстве отливок из кремнистых сталей не рекомендуется применение внутренних холодильников и жеребеек [10].

**Особенности получения отливок из сталей, легированных молибденом, вольфрамом, ванадием, титаном и медью.** Особенностью всех элементов, кроме меди, является то, что они относятся к карбидообразующим элементам и поэтому способствуют повышению прочностных свойств стали. Влияние меди на повышение прочности стали сказывается за счет дисперсионного твердения. Однако повышение прочности не всегда является основной целью легирования карбидообразующими элементами. Они при определенных условиях могут повышать ударную вязкость и понижать температуру хладноломкости стали, что особенно важно для отливок, работающих в условиях Севера при температурах  $-40.. -60$  °С.

При легировании указанными элементами сталь приобретает и ряд других специальных свойств. Молибден благотворно воздействует на повышение прокаливаемости, предела текучести стали, а также улучшает обрабатываемость отливок. Главными факторами влияния молибдена, определяющими его применение, являются понижение чувствительности стали к хрупкости отпуска и повышение сопротивления ползучести. В связи с этим молибденовые стали применяют как жаропрочные для получения различных типов котлов и в турбостроении. Достаточно ввести в углеродистую сталь 0,2-0,4 % молибдена, чтобы повысить сопротивление ползучести.

Для повышения механических свойств, в сталь вводят до 0,5-0,9 % хрома; 0,1-0,2 % ванадия. Такие стали, как 12МХЛ, 20МХЛ, 35МХЛ, 20ХМФЛ, применяют для цилиндров паровых и газовых турбин и сопловых коробок, корпусов клапанов и др. [10].

Т.к. содержание молибдена и других элементов невелико, то литейные свойства в основном определяются содержанием углерода. Однако жидкотекучесть молибденовых сталей несколько ниже, чем сталей углеродистых при том же количестве углерода. Незначительное в связи с этим повышение температуры заливки стали уменьшает брак по включениям и течи при ги-

дравлических испытаниях отливок из молибденовых сталей. Для создания лучшей герметичности в отливках увеличивают и размер прибылей. Возникновение и развитие горячих трещин в отливках из сложнолегированных молибденовых сталей, например 20ХМФЛ, определяется отношением между величиной напряжений, возникающих в результате торможения усадки, неравномерностью охлаждения различных частей отливки и прочностью стали. При получении мелкой равноосной структуры в отливке путем снижения неметаллических включений в стали, развития предусадочных расширений в стали в процессе затвердевания отливки можно понизить величину линейной усадки и повысить трещиностойкость в интервале температур образования горячих трещин. Большое влияние на указанные характеристики оказывают точность химического состава стали, соблюдение технологии режима выплавки стали, ее раскисления и разливки.

Наиболее перспективными для внедрения сталей с ванадием - отрасли, производящие продукцию для эксплуатации ее в условиях низких температур. Это тракторо- и вагоностроение, автостроение большегрузных автомобилей, детали и узлы магистральных газопроводов, металлургическое машиностроение и др. [10]. Особенно эффективно применение унифицированных сталей повышенной прочности наиболее массового назначения: 20ФЛ, 20Г1ФЛ, 30ХГСФЛ, 20ХГНФТЛ и 45ФЛ. Использование указанных сталей и разработка новых с применением ванадия позволяет повысить срок службы литых деталей в условиях Севера, снизить их массу, а также заменить дорогостоящие стали, содержащие никель и молибден.

Вольфрам может входить в состав легированных сталей в качестве основного или дополнительного легирующего элемента. Так, для изготовления режущего литого инструмента применяют сталь следующего химического состава, %: углерод - 0,7-0,8; вольфрам - 18; хром - 4; ванадий - 1; молибден - 0,3, где ведущая роль принадлежит вольфраму. Кроме того, вольфрам вводится в жаропрочную сталь 3Х17Н22В6Б6 (В - вольфрам, Б - ниобий),



сталь аустенитного класса, применяемую для изготовления деталей газовых турбин.

Работы по развитию применения литого инструмента направлены по пути получения необходимой твердости либо в сыром состоянии, либо при отпуске с температур 600-620 °С. Хороший инструмент должен иметь твердость не менее 62-64 R<sub>c</sub> и быть достаточно устойчивым при работе. Высокая твердость достигается за счет первичного и вторичного мартенсита и дисперсионного твердения, наблюдающихся при распаде остаточного аустенита при отпуске. Изготовление литого инструмента при достижении необходимых свойств после отпуска связано с получением в литом состоянии структуры мартенсита и ледебурита, а также некоторого количества остаточного аустенита. Отливки в литом состоянии имеют сложные карбиды, расположенные в виде ледебуритной эвтектики по границам первичных кристаллов. Получение мелких и благоприятно расположенных карбидов уже в сыром состоянии является одним из основных требований при получении литого инструмента. Очень важным условием получения требуемых свойств в литой структуре отливки является обеспечение большой скорости затвердевания. В тонкостенных отливках затвердевание должно быть таким, чтобы сетка карбидов не получила развитие, т.е. отливка должна охлаждаться с большой скоростью. Интересно отметить, что мелкая карбидная сетка в литом инструменте не снижает его режущих свойств, в то время как в кованных инструментах наличие такой сетки недопустимо [8, 10].

Кроме надлежащей структуры, необходимо обеспечить точность размеров инструмента. Поэтому его лучше получать в металлических или комбинированных формах, а также методом точного и центробежного литья.

***Литейные свойства вольфрамовых сталей.*** Вольфрамовая сталь, имеющая в 3 раза меньшую теплопроводность по сравнению с углеродистой, склонна к образованию концентрированных усадочных раковин больших

размеров, поэтому следует обращать внимание на правильную установку прибылей, а также применять наружные холодильники при получении отливок в песчаных формах. Подвод металла следует проводить снизу по заливке и не подводить питатели при получении инструмента к его режущим кромкам. При получении отливок в песчаной форме необходимо обеспечить высокую плотность набивки, а заливку стали осуществлять из поворотного ковша, создавая небольшую высоту падающей струи металла из-за высокой плотности вольфрамовых сталей. Температура стали при заливке должна быть по возможности низкой, особенно при получении сложных отливок, склонных к образованию горячих трещин. Вместе с положительным влиянием молибдена и вольфрама на свойства сталей необходимо отметить их дефицитность и дороговизну, поэтому в ряде случаев эти элементы могут быть заменены ванадием [10]. Введение ванадия в сталь позволяет измельчить структуру при первичной кристаллизации и получить более равномерное строение по толщине стенки отливки в процессе термообработки. Ванадий как сильно карбидообразующий элемент, соединяясь с углеродом в специальные карбиды, препятствует выделению сульфидов или других неметаллических включений.

Особенно значимо введение ванадия в виде карбонитридов. Карбонитриды ванадия обуславливают дисперсионное упрочнение стали, измельчение зерна аустенита и в целом зерна окончательной структуры в отливке, при этом повышается ударная вязкость и снижается хладноломкость, положительное влияние ванадия на свойства стали проявляется при его содержании 0,09-0,15 %.

Наряду с ванадием другим доступным и недорогим карбидообразующим элементом, применяемым для легирования сталей, является титан. Известно, что до 80 % ванадиевых сталей получают с применением конвертерного ванадиевого шлака. Из шлака одновременно с ванадием

переходит в металл до 0,01-0,03 % титана. В связи с этим целесообразно рассмотреть влияние титана на структуру и свойства стали.

Если атомная доля азота в стали больше атомной доли титана, то образуется карбонитрид титана с очень малым содержанием углерода. Если же атомная доля титана больше таковой для азота, в стали могут образоваться три титаносодержащих фаз - сульфидная и две карбонитридные. Состав и дисперсность карбонитридных частиц в стали определяются наличием нескольких возможных интервалов выделения. Чем ниже температура выделения карбонитридной фазы, тем больше доля углерода в ее составе и меньше размер частиц. В сталях для отливок целесообразно иметь не более 0,03 % Ti, т.к. большее его содержание может привести к охрупчиванию из-за возможного образования крупных сульфидов и нитридов по границам зерен. Целесообразность применения титана, вводимого во многие конструкционные стали, определяется его способностью связывать азот и выводить его из твердого раствора, измельчать зерно аустенита, а также уменьшать склонность к росту зерна при нагреве в условиях термической обработки сталей, предотвращать или ограничивать образование крупных дендритов при первичной кристаллизации стали в отливке. Известно влияние титана как раскислителя и успокоителя стали. Однако повышение содержания титана более 0,5 % приводит к появлению по границам аустенитных зерен сульфидов и карбидов титана, неравномерному распределению нитридов в объеме отливки, что снижает пластичность и ударную вязкость сталей [10, 11].

Литейные свойства ванадиевых и титанистых сталей практически не отличаются от свойств углеродистых сталей, поэтому не требуют изменений в технологии получения отливок из этих сталей. Экспериментально доказано, что жидкотекучесть ванадиевых сталей не ухудшается при изменении его содержания от 0,05 до 0,9 %, относительный объем усадочных раковин в отливках снижается от 2,7 % из стали 20Л до 2,1 % из стали 20ФЛ. Снижает

ванадий и трещиностойчивость, особенно образование горячих трещин в тонкостенных и протяженных отливках при его содержании в пределах 0,09-0,15 %.

Медь из-за своей способности к дисперсионному твердению является ценным легирующим элементом. Медистая сталь может применяться для отливок массивных или такой сложной конфигурации, которые не допускают резкого охлаждения при термообработке, а также для тонкостенных отливок, подверженных короблению.

Выделяющиеся из пересыщенного раствора частицы меди или богатой ею фазы блокируют плоскости скольжения кристаллитов и повышают прочность стали. Растворимость меди в твердом растворе феррита при температуре нагрева до 650 °С составляет 0,35-0,4 %, а при 850 °С - уже 1,0-1,5 %, т. е. при охлаждении до температуры 600 °С из твердого раствора может выделиться определенное количество меди в виде дисперсионных частиц, равномерно распределенных в объеме отливки. Выделение меди упрочняет феррит, поэтому наибольший эффект влияния меди при дисперсионном твердении получается в стали с низким содержанием углерода. При концентрации углерода менее 0,2 % даже в массивных отливках можно получить высокие механические свойства. Для усиления влияния меди в сталях с повышенным содержанием углерода в ее состав можно ввести такие сильно карбидообразующие элементы, как хром, молибден, титан и др. При этом можно получить гамму комплексных составов сталей, сочетающих свойства упрочненного медью феррита с блокирующим влиянием соответствующих карбидов [8, 10].

Медь увеличивает прокаливаемость стали, для отливок обычно применяют низколегированные медистые стали, дополнительно легированные как карбидообразующими, так и ферритоупрочняющими элементами. Из низколегированных можно выделить Cu-Mn-Si и Cu-Cr-Ni стали. Они обладают

хорошей жидкотекучестью, высокой прочностью и пластичностью, малой склонностью к образованию горячих трещин.

Для отливок, подвергающихся сложной динамической нагрузке, применяют высокоуглеродистые медистые стали следующего состава, %: 1,3-1,6 С; 0,85-1,1 Si; 0,7-0,9 Mn; 1,5-2,0 Si; 0,4-0,5 Cr; не более 0,1 P и 0,06 S. Высокое содержание углерода в этой стали обеспечивает хорошую жидкотекучесть, а также образование углерода при термообработке и отжига, повышающего циклическую вязкость стали, которая гасит колебания в отливке, возникающие при знакопеременной нагрузке (коленвалы мощных дизелей).

Для отливок выхлопных клапанов и клапанных колец двигателей, работающих под ударами и высокой температуре газов, применяют высокоуглеродистую Cu-Cr-W сталь следующего состава, %: 1,2-1,4 С; 0,3-0,5 Si; 0,3-0,5 Mn; 1,5-2,0 Cu; 2,5-3,5 Cr; 14-17 W.

**Литейные свойства медистых сталей.** Медь даже при низкой концентрации повышает практическую и истинную жидкотекучесть. Особенно жидкотекучесть возрастает при высоком содержании углерода. Линейная усадка конструкционных медистых сталей определяется содержанием углерода. При концентрации углерода до 0,2 % медистые стали умеренно склонны к образованию горячих трещин, а при увеличении его содержания возрастает склонность сталей к напряжениям и холодным трещинам.

Небольшие коленчатые валы отливают обычно вертикально в сырых или сухих песчаных формах. Крупные целесообразно отливать горизонтально, устанавливая на фланцах и щеках вала прибыли. При высоком содержании вольфрама в стали необходимо проводить мероприятия, характерные для отливок из вольфрамовых сталей.

**Особенности выплавки марганцовистых сталей.** В конструкционных низко- и среднелегированных сталях свободных карбидов марганца не образуется, но атомы марганца могут замещать атомы железа в цементите, и поэтому в структуре присутствуют карбиды типа  $(Fe, Mn)_3C$ . Содержание

марганца в карбиде зависит от его концентрации в стали, а также углерода. В низкоуглеродистых сталях количество марганца в карбиде относительно выше, чем в высокоуглеродистых.

Марганец тормозит процесс превращения аустенита, и он протекает медленнее, чем в углеродистых сталях. В результате структура сталей перлитного класса получается тем дисперсней, чем выше содержание марганца. В зависимости от содержания марганца и углерода структура может изменяться в широких пределах: от перлитной до аустенитной [10]. Для отливок, охлаждающихся в форме, границы соответствующих областей диаграммы переместятся несколько вверх и вправо, т.е. в сторону больших концентраций марганца и углерода.

Все марганцовистые стали в зависимости от содержания марганца можно разделить на низко-, средне- и высоколегированные.

Низколегированные марганцовистые стали при резком охлаждении отливки вследствие более дисперсной структуры и меньшей критической скорости закалки, по сравнению с углеродистой сталью, способны давать предел прочности 1000-1180 МПа при толщине стенок отливки до 70 мм. При этом должно соблюдаться определенное соотношение между содержанием марганца и углерода. Наиболее часто стали содержат 0,2-0,3 % С и 1,7-1,9 % Mn.

Марганец способствует растворимости углерода в железе, что при длительных выдержках в условиях термической обработки приводит к росту зерна и неравномерности свойств в отливках. Поэтому проводят двойную термообработку отливок, что удорожает процесс. По этой причине такие стали дополнительно легируют другими элементами, например: кремнием, хромом, молибденом, ванадием, никелем. Эти элементы упрочняют сталь, улучшают прокаливаемость и способствуют равномерности распределения свойств в отливках. На рис. 151 показано влияние ванадия на улучшение строения марганцовистой стали.

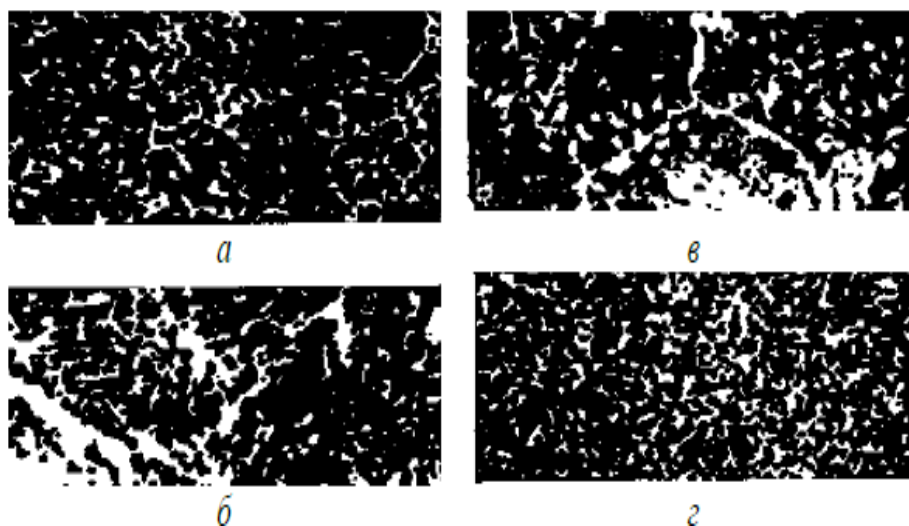


Рис. 151. Влияние ванадия (0,12 %) на улучшение строения марганцевистой стали (0,35 % С; 1,07 % Мп): *а* - в сыром состоянии; *б* - после нормализации без ванадия; *в* - в сыром состоянии; *г* - после нормализации 0,12 % ванадия

Среднелегированная марганцевистая сталь содержит до 5 % марганца. Такая сталь имеет высокое сопротивление износу и может применяться для отливок с толщиной стенок до 100 мм.

В чистых сплавах системы Fe-Mn устойчивое однофазное аустенитное строение получается при 30 % Мп и более. В сталях, где в составах имеется углерод, способствующий повышению устойчивости аустенита, однофазное строение может получиться при условии, чем ниже содержание марганца, тем ниже содержание углерода. При его повышении для получения однофазной аустенитной структуры должно быть повышено и количество марганца. Примером такой аустенитной стали является сталь 110Г13Л.

**Выплавка стали 110Г13Л.** Эту сталь в отличие от других высоколегированных сталей используют только для фасонных отливок.

Она может быть выплавлена в любом из применяемых в литейном производстве плавильном агрегате. Независимо от способов плавки в стали 110Г13Л должно содержаться минимальное количество закиси марганца и железа [8,11].

**Выплавка 110Г13 в дуговой печи.** При выплавке стали в электрической дуговой печи основным компонентом шихты является чистый стальной лом. Дефицит углерода компенсируется за счет вводимого в печь электродного боя. После расплавления и прогрева металла до высоких температур в печь забрасывают сухую железную руду (~ 8 кг/т металлозавалки) [8, 10].

Последующие добавки железной руды вводят отдельными порциями, в моменты снижения интенсивности кипения, вес их определяется емкостью печи и принятым технологическим процессом.

Вместе с рудой вводят, свежую обожженную известь или известняк. Скорость окисления углерода обычно составляет 0,3-0,8 %/ч. Кипение расплава проводят до получения в стали 0,08-0,12 % углерода и не более 0,03%P. Сплав перемешивают. Окислительный шлак скачивают полностью.

Новый шлак наводят введением в печь шлакообразующей смеси, содержащей 40 % извести, 40 % молотого электродного боя и 20 % плавикового шпата.

Предварительно на зеркало металла загружают молотый ферросилиций. Последующие порции шлаковой смеси не содержат электродного боя, вместо него вводят в 2 раза больше ферросилиция.

Необходимое количество ферромарганца вводят в сталь кусками, весом не более 10кг только после ее предварительного раскисления наведенным шлаком, и когда шлак будет достаточно жидкоподвижным.

После введения ферромарганца расплав перемешивается и шлак раскисляется смесью, состоящей из извести, плавикового шпата, молотого кокса или электродного боя. Кроме того, еще дополнительно раскисляется ферросилицием или алюминием с боркальком (60 % Al + 40 % CaO).

Легирование ферромарганцем производят в несколько приемов (4-5) с обязательным механическим перемешиванием, желателно 25 % расчетного количества ферромарганца заменить силикомарганцем.



После ввода каждой порции ферромарганца шлак раскисляют смесью указанного выше состава с добавлением в нее молотого ферросилиция (ФС75) в количестве 5-7 кг/т стали. Шлак после этого должен быть белым и легко рассыпающимся в порошок. Затем более высокая степень раскисления достигается введением в печь в 2-4 приема боркалька (5-10 кг/т стали). После введения боркалька выдержка расплава (не < 25 мин) при плотно закрытой заслонке рабочего окна, затем тщательное перемешивание расплава и отбор контрольных проб стали и шлака. Содержания в шлаке MnO и FeO не должно превышать соответственно 3,0 и 1,5 %.

При необходимости производят корректировку содержания углерода и марганца в стали. Температура выпуска стали из печи 1480 °С перед выпуском шлак разжижают CaF<sub>2</sub>. Окончательное раскисление стали производится алюминием.

Температура стали в разливочном ковше не должна превышать 1440-1450 °С. Разливочный ковш должен быть перед выпуском стали прокален (температура ковша должна быть менее 500 °С).

Разливку стали по формам производят не позже, чем через 5-7 мин после наполнения ковша [7, 8].

### **3.30.РАЗЛИВКА СТАЛИ**

*Разливка стали* - заключительная операция технологического процесса сталеварения и любого другого процесса плавки. Ответственность этой операции состоит в том, что от ее режима и тщательности проведения зависит не только сохранение свойств металла, полученных в процессе плавки, но и кристаллизация отливок, следовательно, и их качество.

При выборе режима заливки необходимо учитывать химический состав стали, толщину стенок и вес отливок, материал формы (металлические, полупостоянные или разовые, сухие или сырые), особенности конструкции литниковых систем и т.д.

Выпуск стали в разливочный ковш, заполнение ею форм и изложниц должны протекать в условиях, которые бы исключили значительные потери теплоты, окисление металла и попадание в него неметаллических включений.

При производстве фасонных стальных отливок из одного сталеразливочного ковша приходится с перерывами заливать большое количество форм. При этом при заливке тонкостенных отливок первостепенное значение имеет температура жидкой стали, которая в зависимости от условий разливки, состава стали и характера отливок может изменяться в значительных (до 100 °С) пределах.

В большинстве случаев температура стали при разливке должна быть на 80-100 °С выше температуры ликвидуса. Однако в каждом конкретном случае выбор температуры разливки должен уточняться исходя из особенностей принятого технологического процесса. От установленной температуры разливки и особенностей технологии изготовления отливок зависит скорость разливки [7].

В большинстве случаев разливку стали производят из ковшей с отверстием в дне, которое запирается стопором. Реже для разливки используют чайниковые или обычные ковши.

Выпускное отверстие стопорных ковшей выполняют в огнеупорном стаканчике (вставном или стаканчике-насадке), который устанавливают в огнеупорную футеровку дна.

При заливке форм из стопорного ковша истечение стали регулируют с учетом того, чтобы уровень в литниковой воронке оставался постоянным. Если производят заливку изложниц, то необходимо обеспечивать одинаковую скорость подъема стали в них. И в том и в другом случаях необходимо, чтобы расход стали из ковша был неизменным.

При выборе минимального диаметра стаканчика следует иметь в виду, что в процессе разливки площадь отверстия стаканчика не остается постоян-

ной, а размывается жидкой сталью, при этом тем больше, чем больше для данной скорости разливки емкость ковша. По этой причине чтобы расход стали был одинаковым, приходится прибегать к торможению струи пробкой стопора.

При выплавке и разливке легированных сталей, особенно в тех случаях, когда значительное количество легирующих элементов вводят в сталь во время выпуска металла из плавильной печи, необходимо обратить особое внимание на равномерное их распределение в объеме ковша.

При очень большом количестве легирующих элементов, вводимых в ковш, практикуется выдержка жидкой стали в ковше или перелив ее во второй ковш для лучшего перемешивания.

Выпуск стали в разливочный ковш сопровождается заметной потерей теплоты и понижением температуры. Часто разница между температурой стали перед выпуском из плавильной печи и температурой в ковше сразу же после его заполнения достигает 80-100 °С. Да и в объеме ковша может быть значительный температурный перепад, зависящий от условий предварительного разогрева ковша, толщины огнеупорной кладки, степени ее изношенности и толщины слоя шлака на поверхности стали. Значительное влияние на температуру жидкой стали оказывают продолжительность разливки и применяемые в условиях конвейерного производства переливы стали из большого стендового (первого) ковша в небольшие разливочные. Это не может не сказаться на характере физико-химических процессов, продолжающихся в объеме жидкой стали и на границе металл-шлак [7].

**Сталеразливочные ковши.** Ковш для разливки стали представляет собой выполненный из стальных листов футерованный сосуд, имеющий форму усеченного конуса, расширяющегося кверху (рис. 152). Емкость ковшей находится в пределах 5-480 т; помимо жидкой стали ковш должен вмещать немного шлака (2-3 % от массы металла), который предохраняет металл от быстрого охлаждения во время разливки.

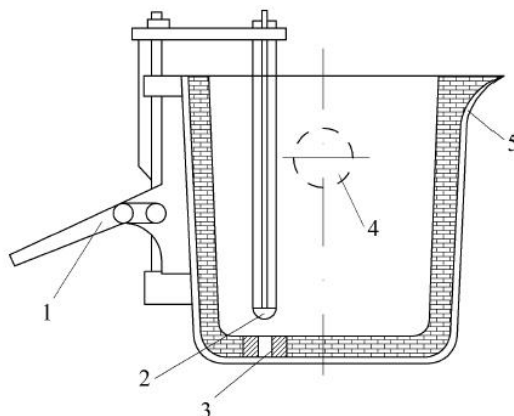


Рис. 152. Общий вид двухстопорного сталеразливочного ковша:

- 1 — рычажный механизм стопора; 2 - огнеупорная пробка; 3 - стакан с отверстием для выпуска стали; 4 - цапфа; 5 -кожух

Кожух ковша изготавливают сварным из листовой стали толщиной до 30 мм. Среднюю часть кожуха опоясывают снаружи массивным стальным кольцом, к которому крепят две цапфы. За эти цапфы ковш поднимают крюками сталеразливочного крана. Для того, чтобы ковш не мог самопроизвольно перевернуться, цапфы крепят несколько выше его центра тяжести. Отношение диаметра кожуха к высоте находится в пределах 0,75-0,90; конусность стен составляет 3-3,5 % [8].

*Ковши с футеровкой из шамотного* кирпича применяются в течение многих лет и наиболее распространены. Футеровка стен состоит из арматурного слоя кирпича, примыкающего к кожуху, и рабочего, соприкасающегося с жидким металлом и шлаком; днище ковша выкладывают кирпичом в 3-5 рядов.

Толщину футеровки стен в нижней части ковша делают большей, чем в верхней, т.к. здесь она более длительное время находится под воздействием жидкого металла.

Арматурный слой футеровки служит 12-18 мес. Рабочий слой изнашивается, его заменяют после разливки 10-18 плавов. Расход ковшевого кирпича составляет 5-12 кг/т стали [8].

У ковшей с монолитной футеровкой арматурный слой и днище выкладывают из шамотного кирпича, а рабочий слой выполняют из монолитной кремнеземистой массы.

Стакан вставляют в днище ковша в специальный гнездовой кирпич. Стакан имеет форму усеченного конуса с отверстием для струи жидкого металла, изготавливают их из магнезита и шамота.

Стопор служит для закрывания и открывания отверстия стакана. Он представляет собой металлический стержень диаметром 40-60 мм, защищенный от воздействия жидкой стали и шлака шамотными трубками. Нижний конец стержня имеет нарезку, на которую навинчивают огнеупорную пробку обычно из высокоглиноземистого шамота. Для подъема и опускания стопора служит стопорный рычажный механизм. Стакан и стопор рассчитан на одну разливку, после чего их заменяют.

**Температура металла при разливке** определяется следующими факторами: толщиной стенок отливки; огнеупорностью формовочных материалов; массой отливки; маркой стали и т.д. Высокая температура при разливке обеспечивает минимальную микропористость отливки, уменьшает трещины и повышает механические свойства [10].

При наиболее низкой температуре (1460-1480 °С) разливается высокомарганцовистая сталь 110Г13Л, которая плавится при 1340 °С и обладает при этом удовлетворительной жидкотекучестью. При перегреве эта сталь окисляется; образовавшиеся окислы марганца при соприкосновении с материалом формы и стержня образуют легкоплавкие силикаты, которые способствуют сильному пригару. Кроме того в отливках из перегретой стали образуется столбчатая структура, что отрицательно сказывается на прочности и износостойкости отливок, увеличивается склонность к образованию трещин.

**Дефекты стальных отливок.** Дефекты или пороки стальных отливок разделяют на естественные или неизбежные, которые возникают при затвердевании и охлаждении отливки, и технологические, которые возникают из-за несовершенства технологии разлива, а также выплавки стали. К числу первых относятся усадочная раковина, химическая и структурная неоднородность, эндогенные неметаллические включения; к числу вторых - трещины, плены, подкорковые пузыри и некоторые другие.

**Образование усадочных дефектов и меры борьбы с ними.** Результатом процесса усадки является не только изменение геометрических размеров отливки, но и образование пустот, которые получили название усадочных раковин, или усадочной пористости. При затвердевании отливки получается разрыв между объемом отливки, зависящим от ее наружных размеров, и объемом твердого металла в ней. Величина этого разрыва и определяет собой объем усадочной раковины в отливке. Влияние усадочной раковины на качество отливок обусловлено не только ее объемом, но и формой и расположением раковины в отливке. Концентрированная усадочная раковина является наилучшей по форме, а ее нахождение только в прибыли отливки, применяемой для борьбы с усадочным дефектом, - наилучшим по расположению.

**Литейные напряжения, горячие и холодные трещины в стальных отливках.** Литейные напряжения в отливках возникают независимо от действия внешних сил. Неизбежность образования напряжений определяется тем, что в каждой отливке развиваются процессы усадки и имеются температурные градиенты при их охлаждении. Развитие литейных напряжений в стальных отливках зависит от химического состава стали, особенностей технологического процесса их изготовления, фазовых превращений, происходящих в стали при кристаллизации, а также наличия затрудненной усадки отливки в форме. В стальной отливке могут возникать термические, фазовые и усадочные напряжения. Термические напряжения

вызываются неравномерным и разновременным протеканием усадки в различных частях отливки при различной толщине ее стенок. Фазовые напряжения вызываются разновременным протеканием фазовых превращений по сечению и в различных частях отливки. Термические и фазовые напряжения могут быть как растягивающими так и сжимающими. Усадочные напряжения вызываются торможением усадки со стороны формы, они всегда растягивающие. Одним из основных мероприятий по борьбе с напряжениями является выравнивание температуры по сечению стенки отливки, особенно в момент перехода стали из пластических деформаций в упругие. Результатом действия напряжений является образование горячих и холодных трещин в стальной отливке [10].

**Горячие трещины в стальных отливках.** Трещина называется горячей в связи с ее образованием при высоких температурах в области интервала кристаллизации и, как правило, по границам зерен твердой части сплава. Горячая трещина при комнатной температуре имеет вид межкристаллитного излома с черным или темно-бурым налетом окислов, что указывает на образование ее при высоких температурах. Температурный интервал образования горячих трещин зависит от химического состава стали и лежит в пределах 1250-1450 °С.

Горячая трещина образуется в отливке в период, когда отсутствуют упругие деформации и достаточно небольших усилий, чтобы произошел пластический сдвиг и образовалась горячая трещина. Горячие трещины бывают внутренние и наружные. Наружные поражают часть сечения отливки или все сечение. Внутренние трещины наиболее опасны, т.к. обнаруживаются только при просвечивании отливки рентгеновскими лучами.

Горячая трещина образуется в наиболее слабом сечении. В отливках с одинаковой толщиной стенок наиболее слабым сечением окажется место подвода питателя или установки прибыли. Наружные горячие трещины чаще образуются в тонких стенках отливки. Связано это с тем, что горячая

трещина начинает образовываться в интервале температур ликвидуса - солидуса и не может быть «залечена» жидким расплавом в связи с быстрой кристаллизацией тонких стенок. Высокая температура заливки благоприятна для тонкостенных отливок, но недопустима для толстостенных. Форма и стержни должны быть податливы. Основным требованием к качеству формовочной смеси для борьбы с горячими трещинами в стальных отливках является понижение их горячей прочности, с целью предупреждения напряжений и горячих трещин [10].

**Холодные трещины.** Они образуются в процессе охлаждения затвердевшего металла и возникают при слишком быстром охлаждении в результате термических и фазовых напряжений. Для предотвращения их образования следует медленнее проводить охлаждение отливок. Склонность стали к образованию холодных трещин возрастает при ее легировании хромом, марганцем, кремнием, а также при содержании в стали более 0,4 % углерода.

Основные меры борьбы с холодными трещинами сводятся к устранению напряжений. Обеспечение свободной усадки, выравнивание температур по сечению отливки при охлаждении, равномерная толщина ее стенки обеспечивают снижение вероятности образования холодных трещин. Необходимо помнить о том, что напряжения, возникшие в отливке, могут не превысить предел прочности стали и тогда трещина не образуется, но эти напряжения, называемые остаточными, могут вызвать быструю поломку детали в процессе ее эксплуатации. Для устранения остаточных напряжений в отливке, необходимо проведение термообработки (отпуске или отжиге отливок) [10].

#### **4 СПЕЦИАЛЬНЫЕ СПОСОБЫ ЛИТЬЯ**

В производстве литых заготовок для деталей машин и приборов значительное место занимают так называемые специальные виды литья: литье в



кокиль, литье под давлением, центробежное литье, литье в оболочковые формы, литье по выплавляемым моделям, позволяющие получать отливки повышенной точности с чистой поверхностью, минимальным припусками на обработку, высокими служебными свойствами.

Технологические процессы получения отливок специальными видами в сравнении с литьем в песчаные формы отличаются меньшими трудозатратами, меньшей материало- и энергоемкостью, дают возможность существенно улучшить условия труда и уменьшить вредное воздействие на окружающую среду.

#### 4.1. Литье в кокиль

Кокиль - 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 кокиль состоит в применении металлических материалов для изготовления многократно используемых литейных форм.

**Материал и конструкции кокилей.** В зависимости от конфигурации и массы отливок в литейном производстве используют кокили различных конструкций: неразъемные (вытряхные); с вертикальной плоскостью разъема; с горизонтальной плоскостью разъема. Для отливок сложной конфигурации применяют кокили с комбинированной поверхностью разъема (рис. 153, рис. 154, рис. 155, рис. 156).

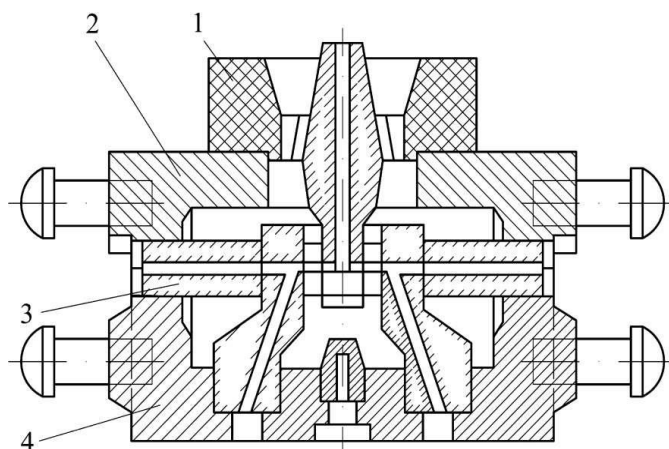


Рис. 153 Кокиль с горизонтальной плоскостью разъема: 1 - литниковая чаша; 2 - верхняя половина кокиля; 3 - стержень; 4 – нижняя половина кокиля

КОКИЛЯ

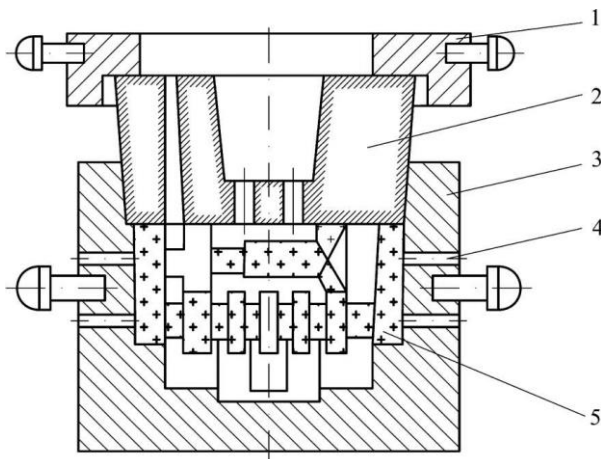


Рис. 154. Вытряхной кокиль: 1 - груз; 2 - песчаная чаша; 3 - кокиль; 4 - вентиляционный канал; 5 - песчаный стержень

По числу одновременно отливаемых деталей кокили разделяют на *одноместные* и *многоместные*.

В зависимости от способа охлаждения различают кокили с *воздушным* (естественным и принудительным), *жидкостным* (водяным, масляным) и *комбинированным охлаждением*. Воздушное охлаждение используют для малонагруженных кокилей, водяное охлаждение - для высоконагруженных кокилей или для его отдельных частей.

Для изготовления кокилей широко применяют серый и высокопрочный чугуны, легированные никелем, хромом, медью, углеродистые и легированные стали. Кокили для отливки мелких деталей из алюминиевых сплавов могут изготавливаться из алюминий-кремниевых сплавов.

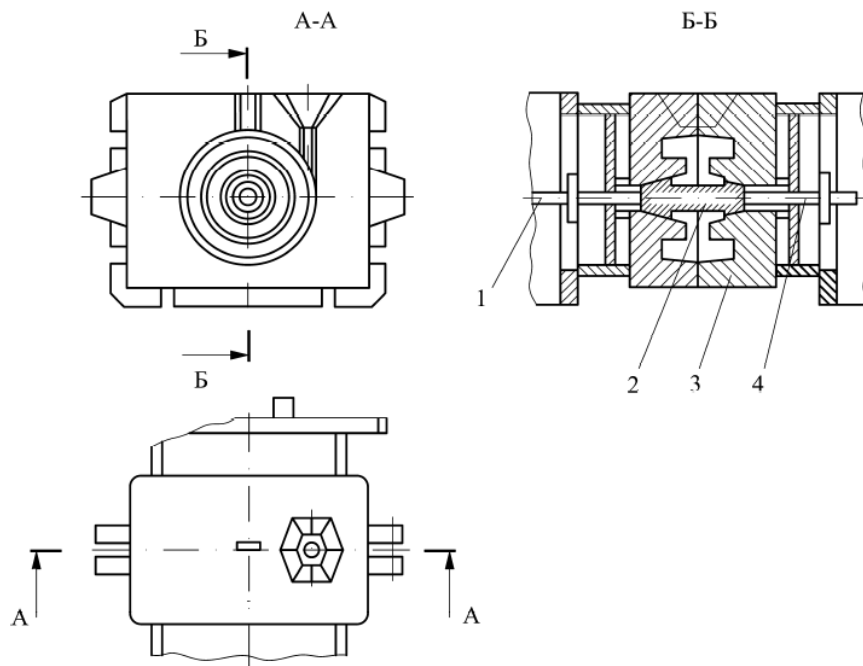


Рис. 155 Кокиль с вертикальной плоскостью разъема: 1 - толкатель;  
2 - стержень; 3 - кокиль; 4 – выталкиватель

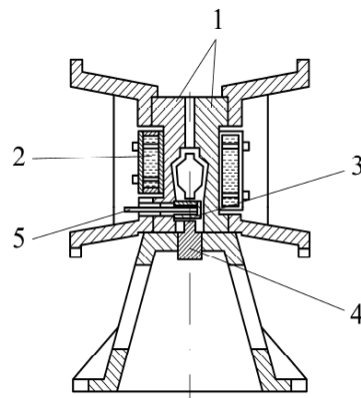


Рис. 156 Водоохлаждаемый кокиль: 1 - вставки кокиля;  
2 - водоохлаждаемые камеры; 3 - водоохлаждаемый боковой стержень;  
4 - нижний стержень; 5 – трубка

Рабочая поверхность кокиля и металлических стержней покрывается специальными красками. Покраска производится с целью предохранения поверхности кокиля от воздействия жидкого металла и тем самым увеличения срока его службы, а также с целью регулирования скорости охлаждения отливки.

Перед началом литья кокиль прогревают газовыми горелками до температуры 200-250 °С. Нагрев осуществляется с целью предотвращения растрескивания рабочей поверхности формы.

**Свойства отливок.** В общем объеме производства отливок из цветных металлов на долю кокильного литья приходится около 40 %, что обусловлено преимуществами данного метода литья.

**Кокиль** - металлическая форма, обладающая по сравнению с песчаной значительно большей теплопроводностью, прочностью, практически нулевым газопроницаемостью и газотворностью. Эти свойства материала кокиля обуславливают качество получаемых в нем отливок.

Повышенная скорость охлаждения способствует получению плотных отливок с мелкозернистой структурой, что повышает прочность и пластичность металла отливки. Однако 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 для устранения отбела.

Кокиль практически неподатлив и более интенсивно препятствует усадке отливки, что может вызвать появление внутренних напряжений, коробление и трещины в отливке.

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.

Физико-химическое взаимодействие металла отливки и кокиля минимально, что способствует повышению качества поверхности отливки. Отлив-

ки в кокиль не имеют пригара. Шероховатость поверхности отливок определяется составами облицовок и красок, наносимых на поверхность рабочей полости формы.

Кокиль практически газонепроницаем, но и газотворность его минимальна и определяется составами огнеупорных покрытий, наносимых на поверхность рабочей полости, поэтому газовые раковины в кокильных отливках - явление не редкое.

***Механизация и автоматизация кокильного литья.*** В зависимости от серийности производства, массы, размеров, сложности отливок, предъявляемых к ним требований изменяется степень механизации и автоматизации процесса. Анализ основных операций литья в кокиль показывает, что этот способ - малооперационный.

При механизации процесса основными операциями являются: раскрытие и закрытие форм, установка и извлечение стержней, удаление отливок из формы, нанесение огнеупорного покрытия, нагрев и охлаждение формы, заливка металла.

При серийном и мелкосерийном производстве крупных отливок эффективными оказываются автоматизированные кокильные машины или механизированные кокили. В массовом и крупносерийном производстве мелких и средних отливок более эффективно использование автоматических литейных кокильных машин в комплексе с механизированной линией.

Основное направление развития производства кокильного литья - комплексная механизация и автоматизация производственных процессов на всех переделах, начиная с подготовки шихтовых материалов и приготовления жидкого металла, кончая обрубкой, очисткой и складированием готовых отливок, что позволит достичь необходимой эффективности производства.

***Преимущества и недостатки литья.*** К преимуществам метода литья в кокиль можно отнести повышенную размерную точность отливок, высокую производительность процесса, многократность использования литейных

форм, возможность автоматизации процесса, экономное использование производственных площадей, возможность комбинированного использования кокилей и сложных песчаных стержней, стабильность плотности и структуры отливок, высокие механические и эксплуатационные свойства.

Недостатки литья в кокиль - высокая трудоемкость изготовления и стоимость металлической формы, повышенная склонность к возникновению внутренних напряжений в отливке, вследствие затрудненной усадки.

**Дефекты отливок.** Общими характерными дефектами отливок при литье в кокиль являются недоливы и неслитины, усадочные дефекты, трещины, шлаковые включения и газовая пористость.

Недоливы и неслитины наблюдаются при низкой температуре расплава и кокиля перед заливкой, недостаточной скорости заливки, большой газотворности стержней и плохой вентиляции кокиля;

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

Трещины появляются вследствие несвоевременного подрыва металлического стержня или вставки, высокой температуры заливки, нетехнологичности конструкции отливки.

Шлаковые включения образуются при использовании загрязненных шихтовых материалов, недостаточном рафинировании расплава, неправильной работе литниковой системы.

Газовая пористость образуется при нарушении технологии плавки - использовании влажной шихты, перегреве расплава, недостаточном рафинировании или раскислении сплава.

## **4.2. Литье под давлением**

Сущность процесса литья под давлением заключается в том, что форма заполняется расплавом под давлением внешних сил, превосходящих силы гравитации, а затвердевание протекает под избыточным давлением.

**Преимущества и недостатки литья.** Преимуществами данного способа литья являются:

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

повышение качества отливок - отливка получается с высокой точностью размеров и чистой поверхностью, с малой шероховатостью, практически не требует обработки, имеет достаточно высокие механические свойства;

полное исключение трудоемких операций и хорошие предпосылки для полной автоматизации производства; значительное улучшение санитарно-гигиенических условий труда из-за устранения из производства формовочных материалов, меньшее загрязнение окружающей среды.

Наряду с преимуществами литье под давлением имеет ряд недостатков: ограничение габаритных размеров и массы отливок мощностью машины, усилием, развиваемым механизмом запирания пресс-формы;

высокую стоимость пресс-формы, сложность и трудоемкость ее изготовления;

низкую стойкость пресс-формы при литье тугоплавких сплавов, что ограничивает область его использования.

**Основные операции.** В процессе литья расплавленный металл заливается в камеру прессования специальной машины, а затем под воздействием поршня, перемещающегося в этой камере, через литниковый канал заполняет полость металлической пресс-формы, затвердевает под избыточным давлением и образует отливку. После затвердевания и охлаждения до определенной температуры из отливки сначала извлекаются стержни, а затем пресс-форма раскрывается, и толкатели удаляют отливку из пресс-формы.

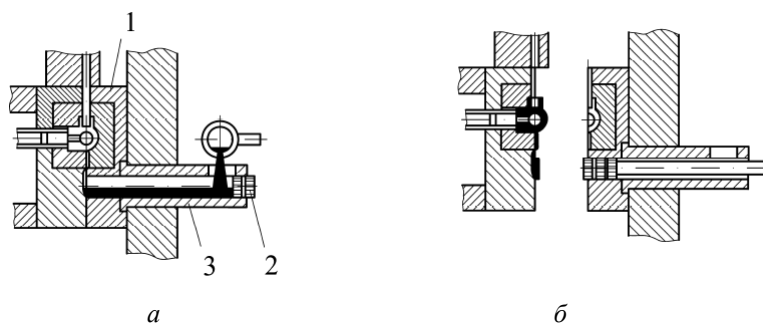
**Область использования.** Заполнение пресс-формы и кристаллизация под давлением позволяют получать отливки высокого качества. Чистая поверхность и точные размеры металлической формы, высокая скорость движения расплава дают возможность резко сократить продолжительность заполнения, улучшить заполняемость и получить отливки сложной конфигурации с чистой поверхностью.

Внешнее давление на затвердевающий металл и высокие скорости его охлаждения в металлической форме способствуют измельчению структуры металла в отливке, уменьшению усадочных дефектов, повышению механических свойств.

Литьем под давлением изготавливают отливки для различных отраслей машино- и приборостроения из цинковых, алюминиевых, магниевых, медных сплавов, реже из чугуна и стали, массой от нескольких граммов до десятков килограммов, обычно тонкостенные, сложной конфигурации с развитой поверхностью.

**Автоматизация литья под давлением.** Размеры и масса отливок зависят от мощности машин, на которых они отливаются. Чем больше усилие запирания пресс-формы, тем больше давление и скорость развивает прессующий механизм машины, что создает условия для получения больших размеров отливок.

В зависимости от устройства камеры прессования различают процессы литья на машинах с холодной (рис. 157) и горячей камерами прессования (рис. 158).





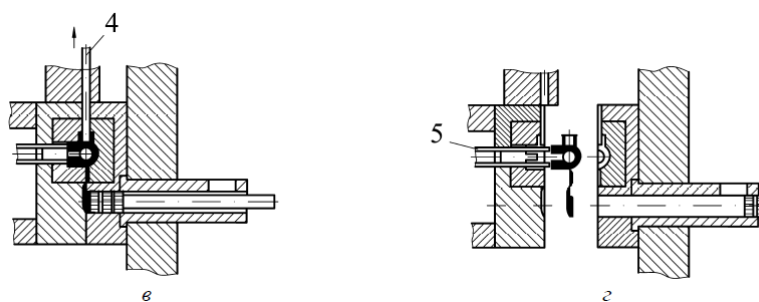


Рис. 157 Схема технологического процесса литья под давлением на машине с холодной камерой прессования: а - подача расплава в камеру прессования; б - запрессовка; в - раскрытие пресс-формы; г - выталкивание отливки; 1 - пресс-форма; 2 - пресс-поршень; 3 - камера прессования; 4 - стержень; 5 – толкатель

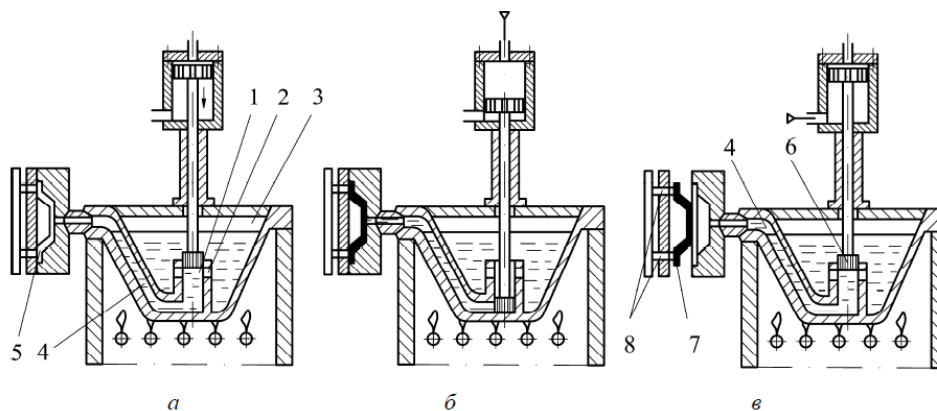


Рис. 158 Схема технологического процесса литья под давлением на машине с горячей камерой прессования: а - заполнение камеры прессования расплавом; б - запрессовка; в - раскрытие пресс-формы и выталкивание отливки; 1 - камера прессования; 2 - заливочное отверстие; 3 - тигель с расплавом; 4 - пресс-поршень; 5 - пресс-форма; 6 - пресс-поршень; 7 - отливка; 8 – толкатели

В горячекамерных машинах камера прессования располагается в тигле с сообщающим отверстием, через которое в нее поступает расплав. При движении поршня отверстие перекрывается, и расплав поступает в полость формы. После затвердевания отливки поршень возвращается в исходное положение, и остатки расплава сливаются в камеру. После извлечения отливки пресс-форма закрывается, и цикл повторяется.

Машины с горячей камерой прессования более производительны, однако камера прессования и поршень на этих машинах работают в тяжелых условиях, быстро изнашиваются и требуют замены. Такие машины обычно используют для литья цинковых, свинцово-сурьмянистых, магниевых и других сплавов, не взаимодействующих с материалом поршня и камерой прессования.

Машины *с горизонтальной холодной камерой* прессования позволяют развивать значительные усилия запираения и прессования, поэтому они чаще используются для изготовления отливок из алюминиевых, медных сплавов, чугуна и стали. Однако на таких машинах труднее получить мелкие точные отливки, так как расплав быстро охлаждается и заполняемость формы ухудшается.

Машины для литья под давлением являются сложными автоматизированными агрегатами, работающими в комплексе со вспомогательным оборудованием. К вспомогательному оборудованию относятся: раздаточные печи, дозаторы жидкого металла, манипуляторы для простановки арматуры, смазывания камер прессования и пресс-формы, удаления отливки, устройства для подогрева и стабилизации температуры пресс-формы, пресс для обрезки литников и облоя.

Эффективность производства отливок под давлением зависит от того, насколько полно используются его преимущества и как учтены его недостатки.

**Дефекты отливок.** Причины образования дефектов при литье под давлением могут быть связаны как с качеством приготовления сплава, так и с нарушениями специфических технологических требований, присущих данному способу литья. Различают дефекты в виде несплошностей тела отливки, несоответствия геометрических размеров требованиям чертежа и дефекты поверхности отливки.

Наиболее распространенными дефектами отливок, вызванными плохим качеством сплава, являются трещины, привар, низкие механические свойства, коррозия отливок. К специфическим дефектам отливок при литье под давлением можно отнести узорчатую поверхность, следы потоков металла, привар, задиры на поверхности отливки, нечеткие контуры отливки, газовые раковины и пористость.

*Литье под низким давлением.* Этим способом изготавливают отливки преимущественно из алюминиевых и реже из медных сплавов.

Сущность данного способа литья состоит в вытеснении газом жидкого металла из тигля раздаточной печи в литейную форму с регулированием давления сжатого газа по заданной программе. Помимо принудительного заполнения литейной формы, позволяющего получать крупногабаритные тонкостенные детали, в этом методе литья эффективно используют затвердевание отливки жидким металлом из естественной прибыли - металлопровода. При этом необходимо обеспечить затвердевание отливки сверху вниз. Регулирование динамики потока металла осуществляется давлением сжатого газа в герметичной раздаточной печи.

Воздух или инертный газ под давлением до 0,1 МПа давит на зеркало расплава. Вследствие разницы между давлением в печи и атмосферным давлением расплав по металлопроводу поступает в форму. По окончании заполнения формы и затвердевания отливки давление газа над расплавом в печи снижается до атмосферного и остаток жидкого металла из металлопровода сливается в тигель. Форма раскрывается, отливка извлекается, после чего цикл повторяется.

При литье под низким давлением отливку можно изготавливать в кокиле, песчаной или комбинированной (кокиль с песчаными или оболочковыми стержнями) форме.

Основными преимуществами процесса литья под низким давлением являются: автоматизация трудоемкой операции заливки формы; возможность

регулирования скорости потока расплава в полости формы; улучшение питания отливки; повышение ее плотности, благодаря избыточному давлению на расплав; снижение расхода металла на литниковую систему, так как незатвердевший металл из металлопровода сливается в тигель, что повышает коэффициент выхода годного до 90 %.

Наряду с указанными преимуществами способ литья под низким давлением имеет ряд недостатков: невысокую стойкость металлопровода, погруженного в расплав, что затрудняет использование способа для литья из сплавов с высокой температурой плавления; сложность системы регулирования скорости потока расплава в форме, вызванную динамическими процессами, происходящими в установке при заполнении ее камеры воздухом.

Преимущества и недостатки способам определяют рациональную область его применения и перспективы развития.

#### **4.3.Центробежное литье**

Центробежное литье - это способ изготовления отливок, при котором заполнение формы расплавом и его затвердевание происходит в поле действия центробежных сил.

**Основные операции.** Форма может вращаться вокруг горизонтальной, вертикальной или наклонной осей, а также одновременно вокруг горизонтальной и вертикальной осей.

Наиболее распространен способ литья во вращающиеся металлические формы *с горизонтальной осью вращения* (рис. 159). По этому способу отливка формируется со свободной поверхностью в поле центробежных сил, а формообразующей поверхностью служит внутренняя поверхность изложницы. Расплав заливается в изложницу через заливочный желоб и растекается по внутренней поверхности формы, образуя под действием центробежных сил пустотелый цилиндр.

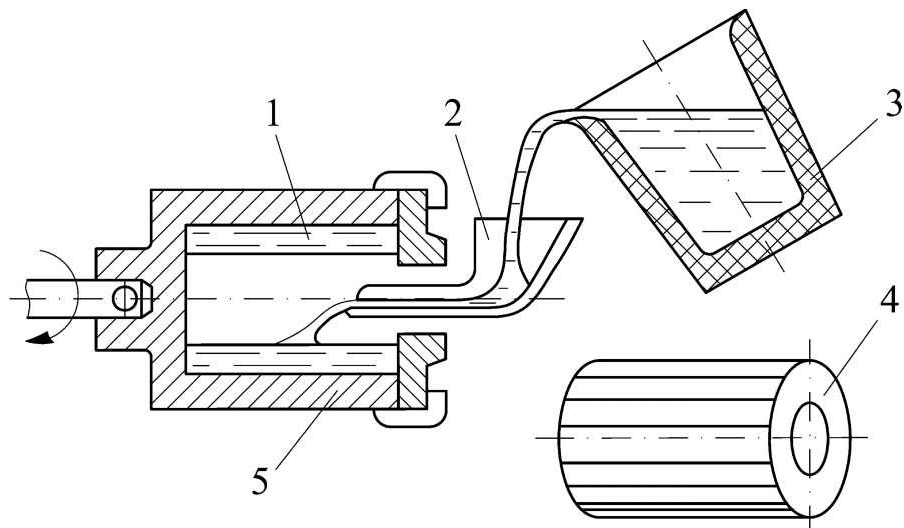


Рис. 159 Схема получения отливки при вращении формы вокруг горизонтальной оси: 1 - расплав; 2 - заливочный желоб; 3 - ковш; 4 - отливка; 5 – форма

После полного затвердевания металла и остановки машины отливка извлекается из формы. Этот способ обладает наиболее высоким коэффициентом выхода годного ( $\approx 100\%$ ).

При получении отливок со свободной поверхностью при вращении формы вокруг **вертикальной оси** (рис. 160) расплав заливают в форму, укрепленную на шпинделе, приводимом в движение электродвигателем. Расплав под действием центробежных сил отбрасывается к стенкам формы и затвердевает.

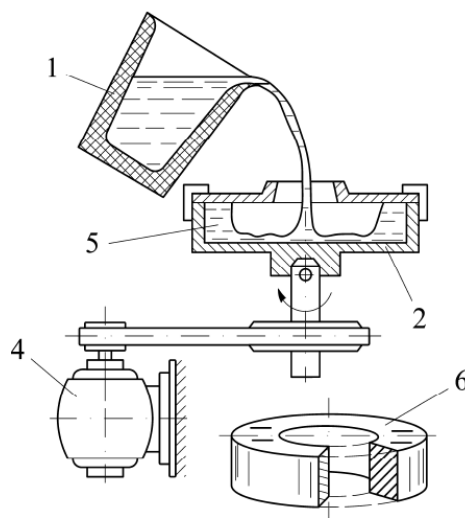


Рис. 160 Схема получения отливки при вращении формы вокруг вертикальной оси: 1 - ковш; 2 - форма; 3 - шпindelь; 4 - электродвигатель; 5 - расплав; 6 – отливка

Отливки с внутренней поверхностью сложной конфигурации получают с использованием стержней в формах с вертикальной осью вращения (рис. 161). Расплав через заливочное отверстие и стояк попадает в центральную полость формы, выполненную стержнями. Затем через щелевые питатели под действием центробежных сил расплав попадает в полость формы.

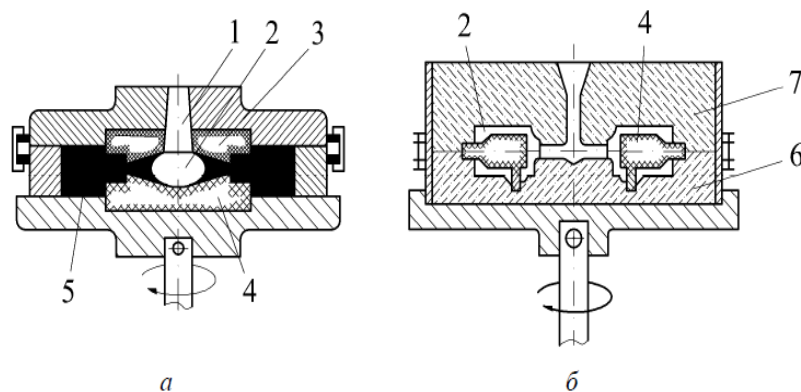


Рис. 161. Схема получения фасонных отливок: а - венцов шестерен; б - мелких фасонных отливок; 1 - стояк; 2 - рабочая полость; 3, 4 - стержни; 5 - избыток расплава (сверх массы отливки); 6 - нижняя полуформа; 7 - верхняя полуформа

Центробежное литье принадлежит к литейным процессам, основные операции которых выполняются с использованием машин. В зависимости от назначения машины для центробежного литья разделяют на *универсальные*, предназначенные для изготовления отливок общего назначения; *труболитейные*, предназначенные для изготовления чугунных и стальных труб, в том числе труб большого диаметра; *специального назначения*, используемые для изготовления однотипных отливок в массовом производстве (гильзы двигателей внутреннего сгорания, биметаллические отливки и др.).

В зависимости от расположения в пространстве оси вращения различают машины с горизонтальной, вертикальной и наклонной осью вращения. По конструктивному исполнению различают шпиндельные и роликовые машины и центробежные столы.

Основные требования, предъявляемые к машинам для центробежного литья: обеспечение вращения формы с требуемой частотой, регулирование частоты вращения в заданных условиях технологического процесса. Машина должна работать плавно, без вибраций, иметь прочные и удобные устройства для крепления и фиксации форм, устройство для подогрева и охлаждения изложниц.

**Преимущества и недостатки литья.** Заливка вращающейся формы и затвердевание отливки под действием центробежных сил обуславливают главные преимущества данного способа литья:

-затвердевание металла под действием центробежных сил способствует получению плотных (без газовых, усадочных раковин и рыхлот) отливок с высокими механическими свойствами;

-отсутствие литниковых систем и прибыльных надставок обеспечивает высокий коэффициент выхода годного;

-при литье полых цилиндров и труб не требуется стержней для образования центрального отверстия.

Основными недостатками центробежного литья являются: неточность размеров свободных поверхностей отливок, повышенная склонность к ликвации компонентов сплава, повышенные требования к прочности литейной формы.

**Область использования.** Центробежным литьем получают литые заготовки, имеющие форму тел вращения: втулки, венцы червячных колес, барабаны бумагоделательных машин, трубы различного назначения, роторы электродвигателей, камеры сгорания реактивных двигателей, деталей пуско-

вых установок. В некоторых случаях метод центробежного литья является единственно возможным.

Наибольшее применение центробежное литье находит при изготовлении втулок из медных сплавов, преимущественно оловянных бронз, и сложных фасонных отливок из титановых и других жаропрочных сплавов.

Втулки из медных сплавов получают в металлических изложницах, а отливки из титановых сплавов - в графитовых формах, изготовленных прессованием или по выплавляемым моделям. Венцы червячных колес из оловянистых бронз получают в песчаных формах, а рабочие колеса центробежных насосов - в металлических формах с песчаными стержнями.

***Свойства металла, отлитого центробежным способом.*** Главная особенность процесса формирования отливок при центробежном литье заключается в том, что заполнение формы и затвердевание отливки происходят в поле действия центробежных сил, во много раз превосходящих силу тяжести.

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. Воздух в полости отливки вовлекается во вращение и выходит из ее полости; на его место вдоль оси вращения поступает холодный воздух. Такая неравномерность охлаждения отливки приводит к возникновению конвекции в расплаве. Охлажденный более плотный расплав перемещается к стенкам формы, а горячий и менее плотный - к свободной поверхности расплава. Вследствие этого в расплаве возникают конвекционные потоки, циркулирующие в радиальном направлении, что способствует направленному затвердеванию в радиальном направлении и тем больше, чем больше частота вращения.



При направленном затвердевании от стенок изложницы фронт растущих в радиальном направлении кристаллов все время соприкасается с расплавом, что способствует улучшению питания отливок.

Свободная поверхность расплава затвердевает в последнюю очередь и остается геометрически правильной. Инородные включения (газы, шлак и т.д.), имеющие меньшую плотность, чем расплав, под действием силы, обусловленной разностью плотностей и гравитационным коэффициентом, интенсивно всплывают на свободную поверхность. Это приводит к необходимости назначать большие припуски на обработку свободных поверхностей отливки.

Центробежные силы способствуют направленному затвердеванию только тогда, когда выделяющиеся на свободной поверхности кристаллы твердой фазы имеют плотность большую, чем плотность остающегося расплава. Для большинства сплавов это условие соблюдается. Исключение составляют два случая: когда сплав затвердевает с увеличением объема (например, серый чугун) и когда выделяющиеся подвижные кристаллы обогащены компонентами сплава, имеющими меньшую плотность, чем остающийся расплав.

Ликвация сплавов под действием центробежных сил происходит при изготовлении отливок из сплавов, компоненты которых взаимно нерастворимы и не образуют эвтектик и химических соединений. К таким сплавам относятся, например, свинцовистая бронза.

***Дефекты отливок и меры по их предупреждению.*** В процессе производства отливок способом центробежного литья возникает ряд характерных дефектов: мелкие спаи на поверхности при низкой температуре формы и металла, горячие трещины, плены в наружных слоях втулок, сквозные раковины при литье оловянных бронз.

Надежный контроль технологических параметров литья, автоматизированная дозировка металла позволяют до минимума свести потери от брака.

#### **4.4. Литье в оболочковые формы**

Литье в оболочковые формы является одним из прогрессивных технологических процессов, позволяющих получать отливки повышенной точности.

Литье в оболочковую форму - это литье металла, осуществляемое путем его свободной заливки в оболочковую форму.

Толщины стенок оболочковых форм соизмеримы с толщинами стенок отливок либо значительно меньше их; толщины стенок оболочковых форм в десятки раз меньше толщин стенок обычных разовых форм.

Оболочковые формы изготавливают из песчано-смоляных смесей, кварцевых или цирконовых песков и искусственных термореактивных смол с добавлением увлажнителей, растворителей и катализаторов, твердеющих в оснастке.

***Преимущества и недостатки.*** Литье в оболочковые формы по сравнению с литьем в обычные формы имеет преимущества. Высокая прочность оболочковых форм позволяет делать их тонкостенными, что существенно снижает расход смесей. Повышенная точность размеров отливки дает возможность снизить припуски на механическую обработку вдвое по сравнению с отливками, полученными в песчано-глинистые формы; сокращаются затраты на обрубно-очистные операции. Следует также отметить такие положительные качества оболочковых форм, как податливость, негигроскопичность, газопроницаемость.

Недостатками процесса являются высокая стоимость формовочных материалов, необходимость оборудования и организации эффективной вентиляции из-за высокой газотворной способности смесей.

***Технология изготовления оболочковых форм и стержней.*** Процесс изготовления оболочек включает в себя следующие операции (рис. 162).

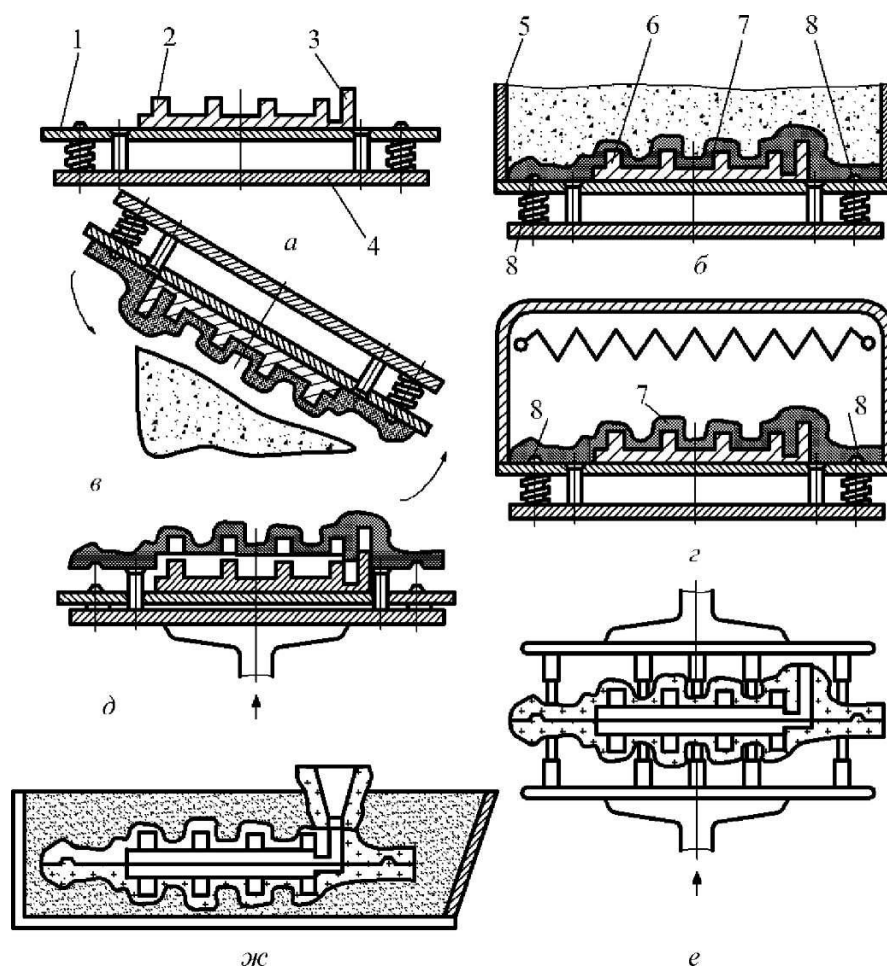


Рис. 162. Схема технологического процесса изготовления оболочковой формы: *а* - подготовка модельной оснастки; *б* - засыпка модельной плиты смесью; *в* - удаление излишков смеси; *г* - окончательное затвердевание оболочки в печи; *д* - сьем оболочковой полуформы с модельной плиты;

*е* - склеивание оболочковых полуформ; *ж* - подготовка формы к заливке; 1 модельная плита; 2 - модель отливки; 3 - литниковая система; 4 - плита толкателей; 5 - бункер со смесью; 6 - смесь; 7 - формирующаяся оболочка; 8 - элементы центрирования оболочковой полуформы при будущей сборке.

Предварительно нагретую плиту с металлическими моделями покрывают смесью из песка и терморезактивной синтетической смолы. Под действием тепла смола в слое смеси, прилегающем к моделям и плите, плавится, и на модельной плите образуется однородная полутвердая песчано-смоляная оболочка. После удаления избытка смеси модельную плиту с образовавшейся

на ней полутвердой оболочкой дополнительно нагревают до полного ее затвердевания.

Твердую оболочку (полуформу) снимают с модельной плиты и соединяют ее с другой полуформой, проставляют стержни и скрепляют зажимами или склеивают. Оболочковые формы заливают в вертикальном или горизонтальном положении. Формы после заливки и затвердевания отливки легко разрушаются при выбивке.

При изготовлении оболочковых форм песчано-смоляную смесь можно наносить на модельную плиту различными способами: свободной засыпкой из поворотного бункера, пескодувным или пескоструйным способом.

Разделительный состав наносят пульверизатором на рабочую поверхность модельной плиты и нагревают 1,5-2 ч при температуре 200-220 °С.

Процесс изготовления оболочковых стержней идентичен изготовлению полуформ. Оболочковые стержни изготавливают в металлических стержневых ящиках двумя способами: 1) насыпным, применяемым при ручном и механизированном изготовлении стержней; 2) пескодувным.

Первый способ аналогичен тому, как изготавливают полуформы, только вместо модельной плиты на бункер устанавливается металлический стержневой ящик.

Более сложные оболочковые стержни изготавливают пескодувным способом на специальных установках.

Стержневой ящик нагревают в печи до температуры 200-250 °С в течение 10-20 мин. Рабочую поверхность покрывают разделительным составом, снова прогревают 3-4 мин, засыпают песчано-смоляной смесью и выдерживают 15-20 с. Время выдержки зависит от температуры нагрева ящика и требуемой толщины оболочки. По истечению указанного времени излишек смеси высыпают из ящика. Стержни вместе с ящиком помещают в печь с температурой 300-450 °С и выдерживают 30-45 с для завершения второй стадии полимеризации. После этого стержень извлекают из ящика.

**Способы лакирования формовочного песка.** Формовочная смесь для оболочковых форм состоит из кварцевого песка, терморезактивной смолы (5-8 %) и увлажнителя (1,0-1,2 %). В качестве смол чаще применяются терморезактивные смолы, в качестве увлажнителя - фурфурол, керосин, машинное масло.

Процесс обволакивания зерен песка смолой называют лакированием. Различают холодное и горячее лакирование.

В процессе **холодного лакирования** смолу растворяют в растворителе (технический спирт или ацетон) и смешивают с песком при 20 °С в бегунах. При перемешивании зерна песка обволакиваются пленкой раствора смолы. Смесь продувают воздухом, растворитель испаряется, и смесь постепенно высыхает. Этот способ лакирования применяется редко из-за повышенной взрыво- и пожароопасности.

При **горячем лакировании** сухой песок предварительно нагревается до 110-130 °С, а затем смешивается со смолой, которая при этом нагревается, плавится и обволакивает зерна песка. Далее в смесь вводят уротропин и другие необходимые технологические добавки. После завершения перемешивания смесь охлаждают и просеивают. Процесс горячего лакирования требует тщательного контроля температурных режимов - начальной температуры песка при вводе в смеситель и температуры смеси в момент ввода уротропина. Нарушение этих режимов приводит к получению некачественных смесей. Для горячего лакирования песка необходимо более сложное оборудование, чем для холодного лакирования.

Формовочные смеси изготавливаются в шнековых, лопастных и других смесителях.

**Область использования.** Литьем в оболочковые формы получают сложные фасонные отливки массой до 200 кг и с максимальными размерами до 1- 500 мм. Наиболее эффективно изготовление этим способом отливок массой 5-15 кг в условиях крупносерийного и массового производства.

**Дефекты отливок.** При литье в оболочковые формы наиболее часто возникают следующие дефекты:

-газовые раковины (из-за повышенного содержания связующего или неравномерного его распределения в смеси, из-за применения песка, вызывающего низкую газопроницаемость оболочковых форм и стержней, из-за трещин в оболочковой форме или стержне);

-повышенная шероховатость (из-за местных дефектов оболочковых форм или стержней);

-спаи (из-за несоответствия конструкции отливки требованиям технологии, плохой жидкотекучести сплава, низкой температуры заливки, медленного заполнения форм);

-трещины горячие и холодные (из-за низкой податливости оболочковых форм и стержней);

-усадочные раковины (из-за неправильной конструкции отливки, не обеспечивающей ее достаточное питание в процессе затвердевания).

#### **4.5.Литье по выплавляемым моделям**

Сущность литья по выплавляемым моделям заключается в использовании точной неразъемной разовой модели, по которой из жидких формовочных смесей изготавливается неразъемная керамическая форма.

Модель или звено моделей изготавливают в разъемной пресс-форме, рабочая поверхность которой имеет конфигурацию отливки с припусками на усадку и механическую обработку.

Последовательность операций при изготовлении оболочковых форм по выплавляемым моделям показана на рис. 163

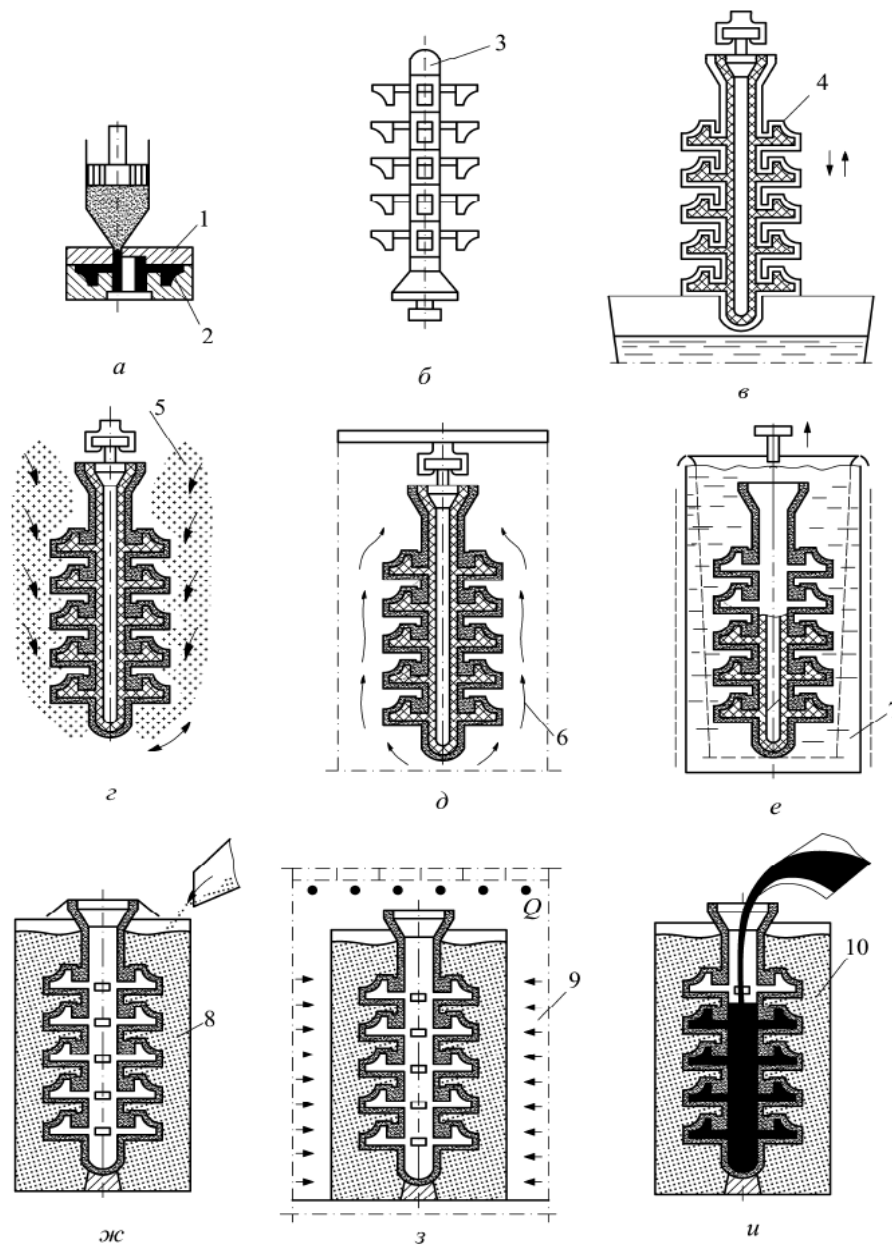


Рис. 163 Последовательность изготовления многослойной оболочковой формы по выплавляемым моделям: а - запрессовка модельного состава в пресс-форму; б - сборка блока; в - нанесение на блок суспензии; г - обсыпка огнеупорным зернистым материалом; д - сушка; е - удаление модели; ж - засыпка опорным материалом; з - прокалка в печи; и - заливка формы расплавом; 1 - пресс-форма; 2 - модель; 3 - блок моделей отливок и литниковой системы; 4 - слой суспензии; 5 - огнеупорный зернистый материал; 6 - пары аммиака; 7 - горячая вода; 8 - опорный материал; 9 - печь; 10 - прокаленная форма; Q - подвод теплоты

Модель изготавливают из материалов с невысокой температурой плавления (воск, парафин, стеарин), способных растворяться (карбамид) или сгорать без образования твердых остатков (полистирол). Готовые модели или звено

моделей собирают в блоки, литниковые системы которых выполняют из того же материала, что и модели. Блок моделей погружают в емкость с жидкой формовочной смесью - суспензией для оболочковых форм, состоящей из пылевидного кварца или электрокорунда и связующего. Для упрочнения этого слоя и увеличения его толщины на него наносят слой огнеупорного зернистого материала (кварцевый песок, электрокорунд, шамот). Операцию нанесения суспензии и обсыпки повторяют до получения оболочки требуемой толщины (3-10 слоев).

Каждый слой высушивают на воздухе или в парах аммиака, что зависит от связующего. После сушки оболочковой формы модель удаляют из нее выплавлением, растворением, выжиганием или испарением. Для упрочнения перед заливкой оболочковую форму помещают в контейнер и засыпают огнеупорным материалом. Прокаленную форму заливают металлом. После затвердевания и охлаждения отливки до заданной температуры форму выбивают, отливки очищают от остатков керамики и производят обрезку литников.

#### **4.6. Технология изготовления моделей и керамических форм.**

*Изготовление моделей.* Для изготовления выплавляемых моделей используют смеси и сплавы легкоплавких материалов, чаще всего органического происхождения. В качестве исходных материалов применяют бурый угольный воск, церезин, парафин, стеарин, канифоль, этилцеллюлозу и др. Модельные составы должны обладать следующими свойствами: температура плавления 60-100 °С; температура размягчения 35-45 °С; хорошая жидкотекучесть; минимальная линейная и объемная усадка; минимальная зольность и неприлипаемость к поверхности пресс-форм; хорошая смачиваемость облицовочными составами; минимальное выделение паров при нагревании и сгорании; возможность многократного использования.



Технологический процесс приготовления модельного состава зависит от входящих в него компонентов. Чаще всего приготовление модельного состава и расплавление возврата производится в специальных термостатах с водяным обогревом.

Заполнение пресс-формы модельным составом осуществляется свободной заливкой расплавленной массы, запрессовкой в пастообразном состоянии, заливкой и запрессовкой под высоким давлением.

Основным способом изготовления моделей является запрессовка состава в рабочую полость пресс-формы. Это обеспечивает хорошую точность и чистоту поверхности моделей. Для выполнения этой операции применяют установки, на которых приготовление пасты из жидкого расплава и запрессовка модельной массы в пресс-формы производится автоматически.

На рис. 164 приведена схема запрессовки модельной массы в пресс-форму.

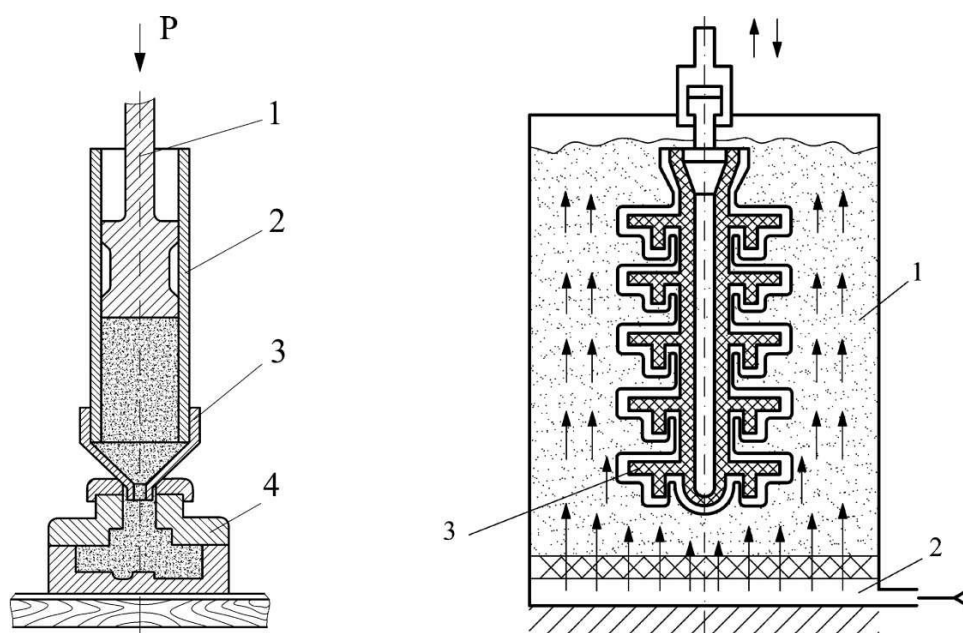


Рис. 164. Схема запрессовки модельной массы в пресс-форму:

1 - щиток; 2 - цилиндр; 3 - наконечник; 4 - пресс- форма

Перед запрессовкой модельной массы стенки пресс-формы смазывают касторовым или трансформаторным маслом, смешанным с этиловым спиртом.

Готовые модели хранятся в холодной проточной воде или в термостатах. Одновременно с изготовлением модели отливки изготавливают модели элементов литниковой системы: стояка и воронки. Затем модели собирают в блоки («елки») с помощью припайки моделей отливки к моделям литниковой системы.

**Изготовление оболочки.** Процесс изготовления литейной формы включает подготовку материалов, формирование огнеупорной оболочки на поверхности моделей, удаление модели из оболочки, формовку оболочки в наполнителе и прокалку формы.

Исходными материалами для изготовления оболочки являются кварцевый песок, пылевидный кварц, гидролизированный раствор этилсиликата и 15 %-й раствор едкой щелочи.

**Этилсиликат** - сложное химическое соединение, основой которого является эфир ортокремниевой кислоты, содержащий до 45 % окиси кремния.

Для придания этилсиликату вяжущих свойств осуществляют операцию его гидролиза в смеси воды, этилового спирта или ацетона и соляной кислоты. В результате гидролиза образуется золь кремниевой кислоты, обладающий высокими вяжущими свойствами.

Огнеупорную суспензию рекомендуется готовить в специальных смесителях. В бак загружается пылевидный кварц и добавляется связующее - гидролизированный раствор этилсиликата. Смесь тщательно перемешивается до полного удаления пузырьков воздуха.

Суспензию наносят на блоки моделей окунанием их в ванну с суспензией, а на крупные блоки и модели - обливанием. В зависимости от характера производства и степени механизации блок моделей погружают в ванну вручную, с помощью манипуляторов или копирующих устройств на цепных

конвейерах. Блок погружают так, чтобы с поверхности моделей, особенно из глухих полостей, отверстий могли удалиться пузырьки воздуха. Вынутый из суспензии блок моделей поворачивают в различных направлениях так, чтобы суспензия равномерно распределилась по поверхности моделей, а излишки ее стекли назад в бак. После этого модельный блок сразу обсыпается песком; между нанесением суспензии и обсыпкой песком не должно проходить более 10-15 с, так как суспензия быстро сохнет и песок не соединяется с ней. Суспензию в баке непрерывно перемешивают, чтобы предотвратить оседание огнеупорного материала. Для нанесения песка на слой суспензии используют погружение модельного блока в слой «кипящего» песка.

После нанесения каждого слоя суспензии и обсыпки его высушивают в потоке воздуха или в парах аммиака. Продолжительность сушки и обсыпки каждого слоя суспензии на воздухе составляет 2-4 ч, а в парах аммиака - 50-60 мин. Сушку производят в вертикальных или горизонтальных многоярусных сушилах.

В зависимости от материала моделей используют различные способы их удаления из оболочки. Модели из выплавляемых воскообразных составов удаляют из формы погружением блока моделей в горячую воду или ванну с модельным составом. Этот способ получил наибольшее применение на производстве. Полистироловые выжигаемые модели удаляются из форм выжиганием или растворением в бензоле, ацетоне. Выжигание сопровождается выделением большого количества паров стирола, углеводов, сажи. Во всех случаях при выжигании, растворении полистироловых моделей должна быть обеспечена хорошая приточно-вытяжная вентиляция с последующей очисткой удаляемого в атмосферу воздуха.

После удаления из блока легкоплавкого модельного состава оболочки формуют в жаропрочной опоке; засыпают наполнитель, уплотняют его, а затем форму прокаливают в газовых или электрических печах при температуре

850-900 °С и выдерживают при этой температуре не менее двух часов, после чего формы поступают на участок заливки.

**Изготовление отливки.** Заливка форм металлом может производиться различными способами в зависимости от размера и веса отливок, состава сплава, назначения отливок. Заливка может быть:

свободная - металл заполняет форму под действием собственного веса;

на центробежных машинах - металл заполняет форму и затвердевает под действием центробежных сил.

После охлаждения форм производят выбивку отливок на специальных установках с поворотом опоки на 180° для того, чтобы из опоки высыпался наполнитель.

**Отделение отливок** от литников осуществляют следующими способами: на вибрационных установках; продавливанием стояка с отливками через обрезной штамп; отрезкой дисковыми и ленточными пилами; отрезкой газовыми горелками.

**Очистка отливок** от огнеупорного покрытия является очень трудоемкой операцией. На практике применяют вибрационную, пескоструйную, гидрореспекоструйную, химико-термическую в растворах щелочей и кислот, а также в расплавленных солях и другими способами.

#### **4.7. Получение слитков непрерывным и полунепрерывным способами**

Слитком называют отливку определенной формы и размеров, предназначенную для дальнейшей обработки давлением, т.е. прокаткой, прессованием, штамповкой, ковкой, волочением и т.д.

Известно довольно большое количество методов литья слитков. По основным признакам формирования их можно разделить на две группы:

- 1) наполнительное литье;
- 2) полунепрерывное и непрерывное литье слитков.

**Наполнительным** является такое литье, при котором форма и размер

слитка определяются полостью изложницы.

**Непрерывным** называется литье, при котором слиток может быть получен любой требуемой длины, а литье может продолжаться сколько угодно долго. При этом кристаллизатор остается неподвижным, а слиток вытягивается с заданной скоростью.

Уровень жидкого металла в кристаллизаторе поддерживается постоянным, а отлитый слиток режется на мерные заготовки специальными устройствами, двигающимися синхронно со скоростью вытягивания слитка.

**Полунепрерывное** литье отличается от непрерывного тем, что оно ведется непрерывно только до получения слитка заданной длины, после чего литье прекращается, слитки извлекаются и цикл повторяется.

Процесс непрерывного литья осуществляется следующим образом (рис. 165).

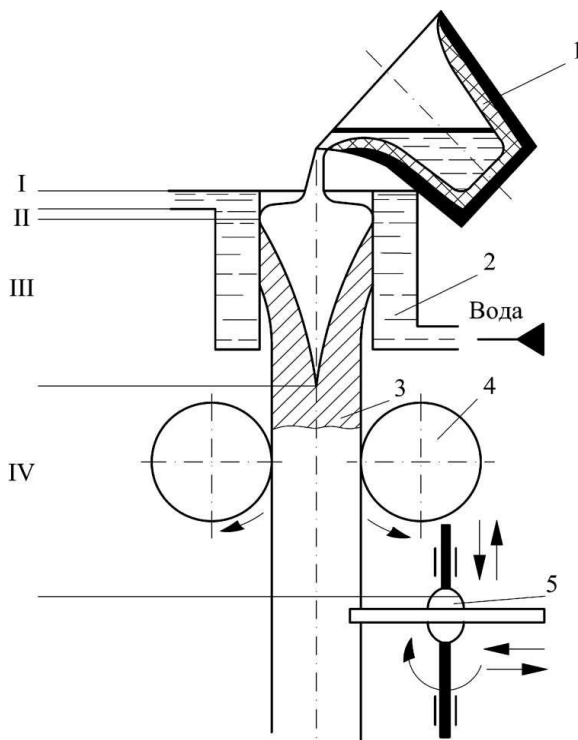


Рис. 165. Схема получения отливок при непрерывном литье: 1 - ковш; 2 - кристаллизатор; 3 - затвердевшая часть отливки; 4 - валки; 5 - пила;

I-IV - температурные зоны

Расплав равномерно и непрерывно подается в водоохлаждаемую форму - кристаллизатор. Затвердевшая часть слитка непрерывно извлекается валками или опускается под действием собственного веса.

Особенности процесса формирования непрерывной отливки обусловлены тем, что в кристаллизаторе в разных его зонах по высоте в каждый момент одновременно происходят все последовательные стадии охлаждения и затвердевания расплава:

I - заполнение кристаллизатора расплавом;

II - отвод теплоты перегрева;

III - кристаллизация;

IV- охлаждение слитка.

Высокая интенсивность охлаждения расплава способствует его направленной кристаллизации, уменьшению ликвационной неоднородности, а непрерывная подача расплава в верхнюю часть затвердевающего слитка - постоянному питанию фронта растущих кристаллов, устранению усадочных дефектов, рыхлот, пористости.

Наряду с указанными особенностями формирования отливки, способствующими повышению качества металла, процесс непрерывного литья обеспечивает ряд преимуществ над наполнительными способами получения слитков: возможность получения слитков постоянного поперечного сечения неограниченной длины, увеличение выхода годного, уменьшение расходов на изготовление изложниц, улучшение качества металла, точности размеров, улучшение поверхности слитков, автоматизация процесса создания непрерывно действующих высокопроизводительных комплексов, полное исключение трудоемких ручных операций, существенное улучшение условий труда и уменьшение вредного воздействия на окружающую среду.

Важнейшим технологическим параметром процесса непрерывного литья является интенсивность охлаждения расплава, определяющая скорость кристаллизации, качество слитка, а также производительность процесса.

Интенсивность отвода теплоты от расплава в кристаллизаторе ограничена тем, что вследствие усадки отливки между кристаллизующейся корочкой металла и стенками кристаллизатора образуется зазор, снижающий скорость охлаждения слитка. Для повышения интенсивности охлаждения слитка процесс осуществляется так, что в коротком кристаллизаторе формируется только корочка толщиной, достаточной для того, чтобы при ее выходе из кристаллизатора не образовывалось надрывов и трещин, а основное количество теплоты отводят непосредственно подачей воды на слиток через ряд отверстий в нижней кромке кристаллизатора или через щель по периметру кристаллизатора (рис. 166).

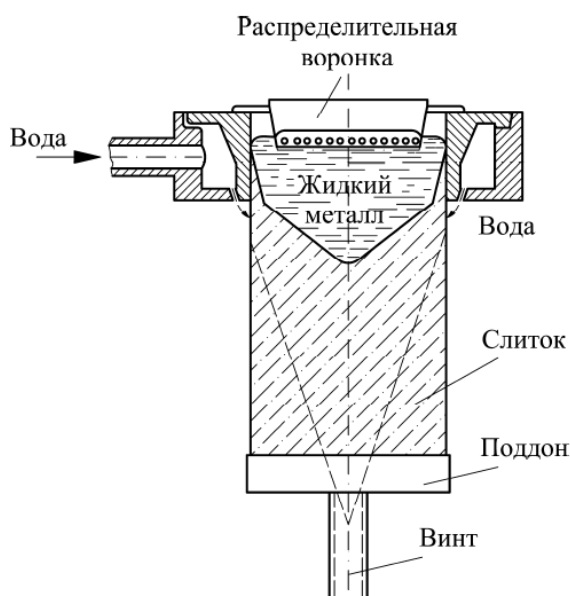


Рис. 166. Схема непрерывного литья, при котором вода из изложницы подается непосредственно на поверхность слитка

**Литейные машины и их узлы.** Современный литейный комплекс для производства слитков полунепрерывным методом включает в себя следующие агрегаты:

-раздаточную печь (миксер) с электрическим или газовым обогревом, служащую для приготовления сплава заданного состава, поддержания

заданной технологической температуры и дозирования подачи на литейную машину;

-установку внепечного рафинирования расплава (рис. 167), служащую для очистки расплава от газов, металлических и неметаллических примесей; установку для подачи модифицирующих добавок (рис. 168); камеру фильтрации через пенокерамические или насыпные фильтры (рис. 167);

-литейную машину вертикального или горизонтального типа для отливки плоских, цилиндрических слитков и других заготовок.

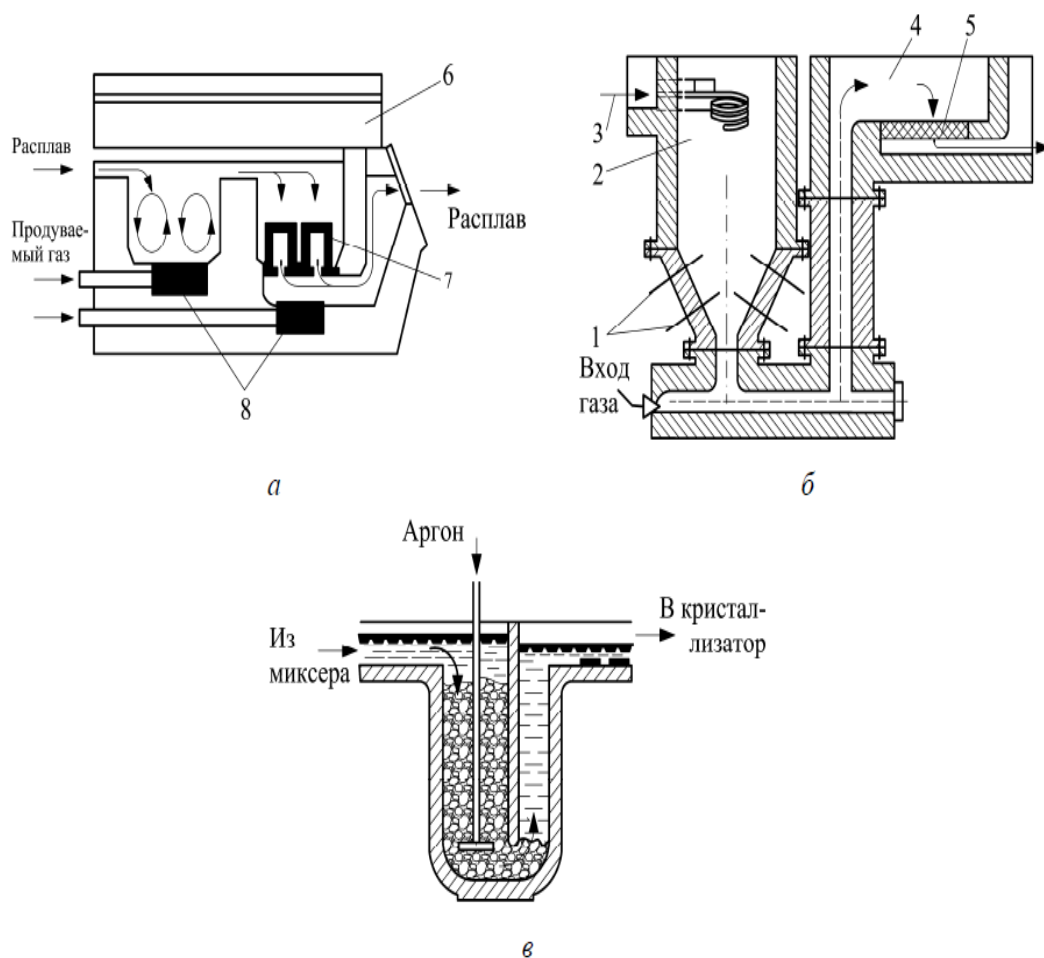


Рис. 167. Схема установок для дегазации алюминиевых сплавов фирмы «Alcoa»

(а), системы MINT фирмы «Consolidated Aluminium» (б)

и системы MULTICAST фирмы Metallies» (в): 1 - сопло; 2 - реактор;

3 – входное отверстие; 4 – чаша фильтра; 5 – фильтр из керамической пены;

6 - обогреваемая крышка; 7 - фильтр-трубки; 8 - продувные камни



В зависимости от привода литейные машины бывают следующих типов: винтовые, цепные, тросовые и машины с гидравлическим приводом.

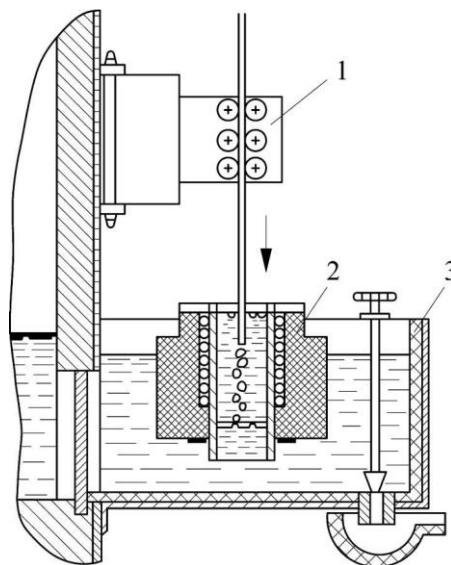


Рис. 168. Принципиальная схема непрерывного модифицирования лигатурным прутком: 1 - привод; 2 - рафинирующее устройство; 3 - прилеточная коробка

Литейные *машины с гидравлическим приводом* наиболее перспективны, так как по сравнению с другими типами машин обладают целым рядом достоинств: большой грузоподъемностью (до 120 т), позволяющей вести одновременную отливку 4-6 крупногабаритных плоских или до 140 цилиндрических слитков; широким диапазоном регулирования скорости литья и хорошей плавностью хода; возможностью полной автоматизации процесса литья под управлением оператора.

Основные узлы литейной гидравлической машины - привод, гидроцилиндр, литейный приямок (кессон), стол для монтажа литейной оснастки. Основными элементами литейной оснастки являются:

- кристаллизатор (формообразователь), определяющий форму, размеры и качество отливаемого слитка (рис. 169);
- поддон, служащий для формирования донной части слитка и запираения кристаллизатора в момент подачи первых порций расплава (рис.

170);коллектор-охладитель, регулирующий подачу воды для охлаждения кристаллизатора и вторичного охлаждения слитка.



Рис. 169. Кристаллизатор

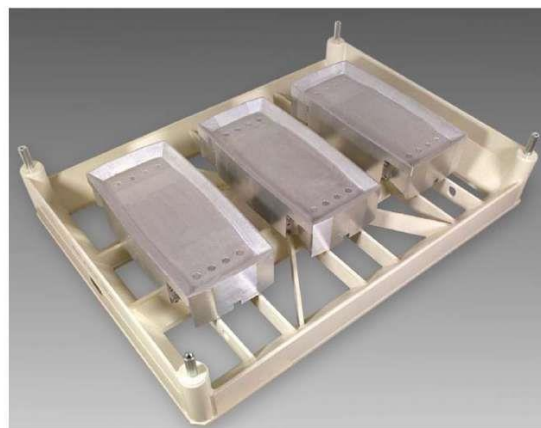


Рис. 170. Поддон

#### **4.8.ПОЛУЧЕНИЕ ОТЛИВОК ПОГАЗИФИЦИРУЕМЫМ МОДЕЛЯМ**

При получении отливок в формах по газифицируемым моделям используется разовая модельная оснастка, изготовленная из вспененного полистирола - пенополистирола с плотностью до  $10 \text{ кг/м}^3$ .

Перед заливкой металла такие модели выжигают, после чего образуется оболочковая форма, перед заливкой ее прокаливают.

Достоинством данного процесса является снижение трудоемкости на этапах изготовления моделей, форм, обрубки и выбивки, сокращение цикла производства отливок, расширение возможностей механизации и автоматизации.

Основные преимущества процесса в условиях крупносерийного и массового производства: снижение трудоемкости при нанесении керамической оболочки вследствие сокращения числа наносимых слоев; сокращение расхода материалов, идущих на изготовление керамической оболочки; снижение

трудоемкости и энергозатрат вследствие ликвидации операций удаления модельной массы и операции прокалки форм.

Однако процесс имеет и недостатки, к которым относятся токсичность выделяемых в атмосферу цеха продуктов разложения модели и нестабильность качества отливок вследствие образования специфических дефектов. При правильно построенном технологическом процессе этих недостатков можно избежать.

В настоящее время в качестве модельного материала наибольшее распространение получил вспенивающийся полистирол, представляющий собой синтетический полимер, полученный в результате полимеризации стирола. Порообразователями служат легкоиспаряющиеся вещества, замешиваемые в стирол, например изопентан с температурой испарения 28 °С.

Схема процесса получения отливок литьем по газифицируемым моделям приведена на рис. 171 [8].

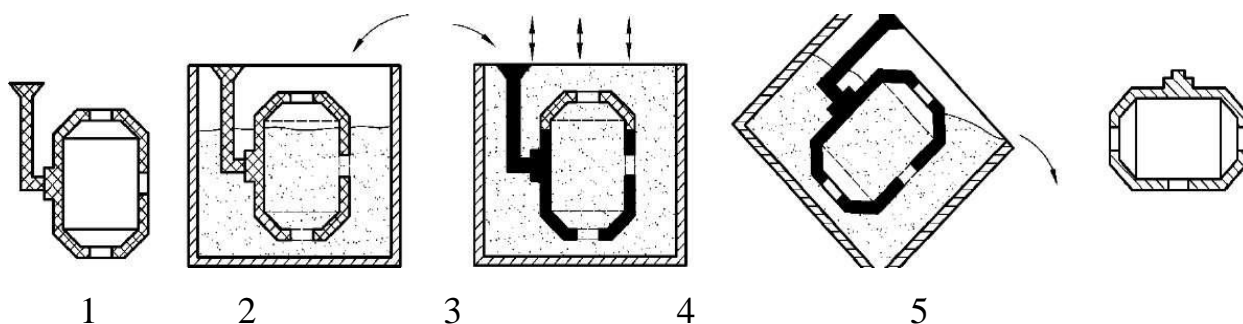


Рис. 171. Схема процесса получения отливок по газифицируемым моделям:

- 1 - модель; 2 - изготовление форм; 3 - заливка форм;  
4 - выбивка форм; 5 – отливка

**Технология изготовления газифицируемых моделей.** Материал для изготовления моделей должен отвечать следующим требованиям: при заливке формы металлом модель должна полностью газифицироваться с

минимальным поглощением тепла; материал при низкой плотности должен обладать достаточной механической прочностью при изготовлении модели, ее транспортировке и формовке; материал должен обеспечить получение качественной поверхности модели при ее тепловой или механической обработке; модели не должны терять свои технологические, механические и теплофизические свойства при длительном хранении; материал для производства моделей и отливок не должен быть дорогим и токсичным.

В табл. 86 приведены теплофизические свойства пенопластов, используемых в производстве при литье по газифицируемым моделям.

Таблица 86

Теплофизические свойства пенопластов

Свойства пенопласта	Пенопласты		
	пенополистирол	пенополиуретан	фторопласт ФРП-1
Температура начала полимеризации, С	120	190	140
Температура начала испарения (деполимеризации), °С	320	230	400
Температура горения, °С	560	580	780
Негазифицируемый остаток, %	0,015	14	44
Удельное газовыделение при 1000 °С, см <sup>3</sup> /г	105	730	600
Время горения образца, с	10-20	30-40	65-110

Полистирол в наибольшей степени отвечает требованиям к пенопластам.

При производстве газифицируемых моделей применяется двухстадийная тепловая переработка суспензионного вспенивающегося полистирола.

На первой стадии этого процесса производится тепловая обработка (предвспенивание) исходных гранул пенополистирола, которая необходима для получения подвспененных гранул, а, следовательно, и моделей с заданной объемной массой.

Во время предварительного вспенивания легкокипящий изопентан, входящий в пенополистирол, при температуре 28 °С испаряется и создает в объеме гранул давление. При температуре 80 °С полистирол начинает размягчаться и под действием паров изопентана гранула растягивается и в несколько раз увеличивается в объеме, принимая ячеистое строение. Ячейки при этом имеют размеры 80-150 мкм, а стенки их представляют собой пленки толщиной 1,0-1,2 мкм.

Изготовление моделей заключается во вторичном нагреве подвспененных гранул, засыпанных в пресс-формы, горячей водой, паром или токами высокой частоты.

*Изготовление моделей* основано на процессе вторичной тепловой обработки гранул в объеме пресс-формы. Технологически процесс изготовления моделей состоит из следующих операций: подготовка гранул пенополистирола, подготовка пресс-формы, заполнение пресс-формы гранулами пенополистирола, тепловая обработка пресс-формы, охлаждение пресс-формы, извлечение модели из пресс-формы, сушка модели, выдержка модели после сушки и контроль качества модели.

Изготовление моделей осуществляется способом внешнего теплового удара, заключающегося в подаче острого пара под давлением 0,2-0,25 МПа при температуре 115-135 °С.

Из паровой камеры пар поступает через вентилы в пресс-форму, которая предварительно заполняется гранулами вспененного полистирола. Пар, конденсируясь, отдает свое тепло гранулам пенополистирола, в результате чего происходит его расширение и формирование модели. Время цикла изготовления модели не превышает 120 с. Процесс изготовления моделей

внешним тепловым ударом обеспечивает их высокое качество при объемной плотности от 16 кг/м<sup>3</sup>.

В условиях массового и крупносерийного производства готовые модели или звенья моделей склеивают, сваривают или собирают бесклеевым способом в блоки. Собранные блоки передают на окраску, которую производят окунанием или распылением пульверизатором. Толщина покрытия 0,2-6,0 мм. Краски должны иметь хорошую адгезию к пенополистиролу и не растворять его.

На рис. 172 приведена схема пресс-формы для изготовления моделей внешним тепловым ударом.

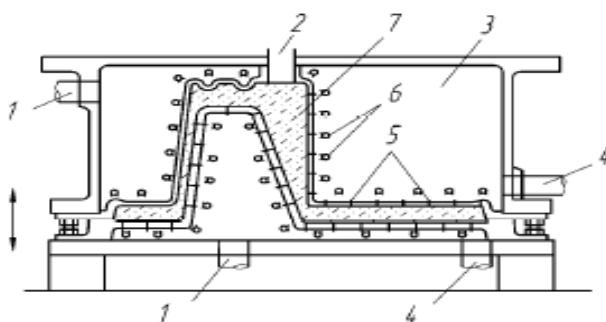


Рис. 172. Пресс форма для изготовления моделей внешним тепловым ударом: 1 - подача пара, воды, воздуха; 2 - отверстие для заполнения пресс-формы гранулами пенополистирола; 3 - камера; 4 - выход пара, воды, воздуха; 5 - венты; 6 - водяные форсунки; 7 - модель из пенополистирола

**Подготовка форм к заливке.** В серийном производстве применяются формы из сыпучих огнеупорных материалов, к которым предъявляются следующие требования: формовочный материал должен обладать хорошей уплотняемостью при вибрации; гранулометрический состав сыпучего огнеупорного материала должен после вибрации обеспечить максимальную плотность формы при минимальной пористости и высокую газопроницаемость; содержание фракций размером менее 0,05 не допускается или должно быть предельно минимальным (не более 0,5 %);

влажность материала не должна быть более 1,0 %; огнеупорность материала должна быть выше температуры заливаемого в форму металла; материал должен быть недефицитным и недорогим; материал не должен оказывать вредное влияние на здоровье человека.

Для повышения плотности формы при виброуплотнении применяются смешанные пески двух фракций 0315 и 016 в соотношении 1:1, при этом сохраняется, при низкой пористости, высокая газопроницаемость.

**Заливка форм.** При заливке форм металлом при литье по газифицируемым моделям необходимо соблюдать следующие требования:

- температура металла должна назначаться с учетом потерь тепла на термодеструкцию модели, отклонение от заданной температуры допускается в пределах 10 °С;

- заливка металла должна производиться с оптимальной скоростью подъема его в полости литейной формы;

- заливку формы металлом через чашу и стояк из пенополистирола следует сначала производить слабой струей, а затем по мере выхода газов продолжать заливку при заполненном стояке и чаше;

- форму с керамическим стояком и чашей необходимо заливать быстро при заполненной металлом чаше;

- при заливке формы из песка не допускается прерывания струи и незаполненности литниковой чаши;

- заливку металлом следует производить из чайниковых ковшей;

- на автоматических и поточных линиях рационально осуществлять заливку металла при помощи заливочных установок на базе индукционных тигельных и канальных печей, обеспечивающих постоянство температуры и весовой расход металла.

## Контрольные вопросы по 1,2 главе

1. Дайте экспериментальную схему устройства разовой литейной формы, назовите назначение каждой ее части.
2. Определите назначение и устройство модели, стержневого ящика и опоки.
3. Какую функцию выполняют стержни в литейной форме?
4. Какие материалы используют для изготовления литейной формы?
5. Укажите преимущества литья как метода получения заготовок машиностроительных деталей.
6. Укажите методы получения фасонных отливок. Каковы преимущества специальных способов литья?
7. Из каких элементов состоит разовая песчаная форма, укажите их роль в процессе получения отливки?
8. Назовите этапы технологического процесса литья в разовые песчаные формы.
9. Что такое коэффициент использования металла (КИМ)?
10. Какие формовочные смеси применяют при изготовлении форм для крупных отливок и для охлаждения их массивных частей взамен металлических холодильников?
11. Классификация стержней и стержневых смесей по условиям их службы в литейной форме. Какие типовые составы и свойства смесей целесообразно иметь для каждого класса стержней?
12. Перечислите последовательность операций при изготовлении формы в двух опоках по разъемной модели.
13. В чем заключается преимущество машинной формовки перед ручными способами изготовления форм?



14. Какие существуют методы уплотнения смесей при машинной формовке?
15. Назовите способы извлечения моделей из полуформ и укажите область их применения.
16. Преимущества получения отливок на автоматических формовочных линиях (АФЛ) в сравнении с ручной формовкой.
17. Обозначьте требования к формовочным смесям для автоматических формовочных линий.
18. При каком из способов формовке (безопочная, опочная) применяется окрашивание форм?
19. При каких условиях производства применяют безопочную формовку?
20. Требования, предъявляемые к качеству стержней?
21. Как контролируют стержневые ящики?
22. Операции контроля готовых стержней?
23. Перечислите операции контроля сборки форм?
24. Как рассчитать массу груза для литейной формы?
25. Какие дефекты возможны при недостаточной массе груза, установленного на форму при заливке ее расплавленным металлом?
26. Дайте оценку всем известным способам заливки форм?
27. Что влечет за собой преждевременная, а в некоторых случаях запоздалая выбивка отливок?
28. Какие дефекты в отливках могут образовываться при ранней выбивке ее из формы?
29. От чего зависит скорость и равномерность охлаждения отливки?
30. Какими способами можно удалить стержни из отливок?
31. Какие технологические приемы применяются при удалении литников и прибылей?
32. Назовите способы очистки поверхности отливок?

33. Чем отличаются технологические процессы дробеметной и дробеструйной очистки отливок?

34. Последовательность финишных операций и термической обработки при производстве стального фасонного литья от выбивки форм до термической обработки?

35. Для чего необходимо контролировать исходные формовочные материалы?

36. Для чего необходимо контролировать такие свойства формовочной смеси как формуемость, текучесть?

37. Как влияет на качество поверхности отливки использование песков с высоким содержанием глины?

38. Функциональная роль основных компонентов формовочных и стержневых смесей?

39. Перечислите общие свойства формовочных и стержневых смесей?

40. Дайте характеристику песчано-глинистых смесей для формовки по сырому?

41. Дайте характеристику песчано-глинистых смесей для формовки по сухому?

42. К каким видам дефектов (несоответствие по геометрии или дефекты поверхности) приводит низкая формуемость и уплотняемость смеси.

43. В отливке появился дефект - ужимина. Влияет ли глина, входящая в состав формовочной смеси, на образование этого дефекта?

44. Какое влияние и почему окажет на образование ужимин замена свежего формовочного песка на горелую смесь?

45. Чем может быть вызвано образование пригара на отливках?

46. Что такое коробление отливки? Причины образования?

47. Причины появления разностенности отливок.

48. Дефекты поверхности отливок.

49. Объясните разницу в усадке металла и в усадке отливки.
50. Почему внутренняя горячая трещина чаще образуется в наиболее массивной части отливки?
51. Как отличить горячую трещину от холодной?
52. Чем может быть вызвано образование пригара на отливке?
53. Что такое механический пригар?
54. Каков механизм химического пригара?
55. Что такое модельный комплект?
56. Какие материалы применяют для изготовления моделей?
57. Классификация моделей по точности изготовления?
58. Классификация опок?
59. Почему необходимо применять элементы центрирования при сборке форм?
60. В чем отличие опок для ручной и машинной формовки?
61. Какие материалы используются для изготовления моделей?
62. Какие требования предъявляются к модельным комплектам для машинной формовки?
63. Что такое разъемные и неразъемные стержневые ящики?
64. Преимущества и недостатки пластмассовых моделей?
65. Что относится к точностным параметрам отливки?
66. Что такое степень коробления?
67. Какой способ литья является наиболее экономичным?
68. Какие технические требования указывают на чертеже литой детали?
69. Какие принципы лежат в основе выбора оптимального положения отливки в форме?
70. Сформулируйте условия обеспечения направленного затвердевания.
71. Чем отличается формовка по-сухому от формовки по-сырому?

72. Как определяют припуски на механическую обработку?
73. Что обеспечивают знаковые части стержней?
74. Что такое уклоны знаковых частей?
75. Требования, предъявляемые к стержням вытекающие из особенностей их применения в форме при высокой температуре расплавленного металла?
76. Классификация прибылей по форме.
77. Какие требования предъявляются к прибылям по размерам?
78. Может ли служить причиной образования усадочных дефектов место расположения прибылей в отливке?
79. Условия получения отливки без усадочных раковин.
80. Какова роль прибылей в формировании отливки?
81. Какие дефекты образуются при отсутствии прибыли?
82. Какие типы литниковых систем знаете?
83. Назовите элементы литниковой системы?
84. Какую функцию выполняет шлакоуловитель?
85. Сформулируйте требования, предъявляемые к литниковой системе?
86. Опишите последовательность расчета литниковой системы при литье из поворотного ковша?
87. Что такое внутренние холодильники?
88. Сформулируйте требования к внутренним холодильникам?
89. Что такое наружные холодильники?

### **Контрольные вопросы по 3 главе**

1. Какова область применения отливок из чугуна?
2. Какие компоненты входят в состав чугуна?
3. Какова отрицательная и положительная роль включений графита в структуре чугуна?
4. Каково влияние химического состава на литейные и механические свойства чугуна?

5. Каково влияние углерода на жидкотекучесть чугуна и его склонность к отбелу?
6. Каково влияние кремния на свойства чугуна?
7. Для каких целей в чугун вводят марганец?
8. Какие марки серого чугуна предусмотрены для изготовления отливок?
9. Какие элементы содержат графитизирующие модификаторы?
10. Какие способы модифицирования серого чугуна существуют в настоящее время?
11. Когда был открыт способ получения шаровидного графита с помощью магния?
12. Каково влияние углерода, кремния и марганца на структуру и свойства ВЧШГ?
13. В каком случае высокорочный чугун с шаровидным графитом может получиться с отбелом?
14. Какие шихтовые материалы относятся к основным?
15. Для каких целей применяют литейные природно-легированные чугуны?
16. Сколько фосфора содержится в передельных фосфористых чугунах?
17. Каково назначение ферросплавов?
18. Какие марки ферросилиция вводят для модифицирования, а какие для легирования?
19. Как маркируют ферросплавы?
20. Какие шихтовые материалы относятся к основным?
21. Каково назначение ферросплавов?
22. Какие плавильные агрегаты используются для плавки чугуна?
23. Как классифицируют вагранки?
24. Какова конструкция вагранки?
25. Как осуществляют загрузку шихты?
26. Каково назначение фурм?
27. Как готовят вагранку к плавке?
28. Как осуществляют розжиг холостой колоши?
29. Как маркируют трехфазные дуговые печи?
30. Каковы диаметр и длина электродов, как их наращивают?
31. Какова температура дуги?
32. Как ведут загрузку печей малой и большой емкости?
33. Какова стойкость футеровки свода и пода ДСП?

34. Перечислите преимущества индукционных печей перед другими плавильными агрегатами.
35. Перечислите недостатки индукционных печей.
36. Какие методы интенсификации плавки чугуна в индукционных печах вы знаете?
37. Каково назначение миксера при плавке чугуна?
38. Каков принцип действия индукционной печи?
39. Назовите группы классификации стали по назначению.
40. Назовите плавильные агрегаты для плавки средне- и высоколегированных сталей.
41. Какие элементы, наряду с углеродом, вносят шихтовые материалы в сталь?
42. Каково влияние углерода на свойства стали?
43. Какие свойства стали улучшаются при увеличении содержания марганца?
44. Какое содержание серы и фосфора допускается в основной и кислой стали?

#### **Контрольные вопросы по 4 главе**

1. Какие типы машин для литья под давлением применяются для отливок из легких и тяжелых цветных металлов?
2. Из каких частей состоят пресс-формы, и при помощи каких приспособлений производится удаление из них отливок и стержней из отливок?
3. Какие типы и конструкции машин для центробежного литья применяются в промышленности?
4. В каких случаях применяются при кокильной отливке металлические и песчаные стержни и как в зависимости от этого меняются способы крепления их в кокилях?
5. В чем состоит сущность центробежного литья?
6. Какие существуют способы литья в зависимости от положения оси вращения формы? Какая разница в применении каждого способа?

7. В чем заключается сущность процесса литья под давлением, каковы его достоинства, недостатки и области применения?
8. В чем заключается сущность процесса литья по выплавляемым моделям?
9. Чем отличается литье по выплавляемым моделям от обычных отливок в песчаные формы по качеству металла, точности размеров и чистоте поверхности?
10. В чем заключается сущность процесса литья в оболочковые формы?
11. Как производится сборка и заливка оболочковых форм?
12. Какие основные преимущества и недостатки способа литья по газифицируемым моделям?
13. Каковы особенности правил техники безопасности при использовании газифицируемых моделей?
14. Какие материалы используют для изготовления кокилей?
15. Назовите основные технологические операции при литье в кокиль.
16. С какой целью производится подогрев кокиля перед заливкой металла?
17. Перечислите основные преимущества процесса литья в кокиль.
18. Опишите сущность процесса литья под давлением.
19. Какие отливки изготавливают литьем под давлением?
20. Назовите основные недостатки процесса литья под давлением.
21. Назовите основные типы отливок, получаемые центробежным литьем.
22. Опишите типы литейных машин, предназначенных для получения отливок центробежным литьем.
23. Как влияют центробежные силы на структуры отливок?
24. Назовите основные требования, предъявляемые к машинам для центробежного литья.
25. Раскройте сущность литья в оболочковые формы.
26. Назовите материалы, используемые для изготовления оболочковых форм.
27. Как осуществляется формовка оболочек перед заливкой расплава?

28. Назовите преимущества способа литья в оболочковые формы.
29. Опишите технологические операции изготовления форм при литье по выплавляемым моделям.
30. Какие материалы используют для изготовления выплавляемых моделей?
31. Опишите процесс изготовления оболочки при литье по выплавляемым моделям.
32. Опишите достоинства и недостатки литья по выплавляемым моделям.
33. В чем заключается принцип производства слитков непрерывным способом?
34. Опишите типы литейных машин, применяемых для литья слитков.
35. Опишите последовательность операций при непрерывном литье.
36. Чем отличается непрерывное литье слитков от полунепрерывного?



## Предметный указатель

### А

Аустенит -273

### Б

Бентонит - 24

### В

Вагранка-323

Вылом-154

Выпор-219

### Г

Галтель-41

Газопроницаемость-21

Газовые раковины-163

Гигроскопичность-144

Гидромонитор-113

Глины-12

Горячие трещины-159

### Д

Дисаматик-80

Дистенсиллиманит – 22

**Дуплекс-процесс-366**

### Ж

Жидкотекучесть-101,371

Жеребейки - 10

### З

Засор-260

Закалка-118

Знаки стержней-202

### К

Кварц-21

Кокс литейный-321

Конвейер-68

Кондукторы-125

Коробление-122

Конвертер-384

Кокиль-431

Ковши-95

### Л

Лигатура-293

Ликвация-444

**Легирование-375**

Литьё – 9

Ледебурит-273

Литейная форма - 9

### М

Магнезит-21

Миксер-344

Модификаторы-289

**Мазут-322**

Модельная плита -31,46

Модель – 29

### Н

Нарост-158

Нормализация-118

Недолив-147

Неслитина-148  
Наполнитель-82  
**О**  
Осыпаемость-144  
Отбел-166  
Обрубка-114  
Огнеупорность-22,146  
Опока-35  
**П**  
Пески-21  
Питатель-214 ,217  
Прибыль-209 ,219  
Припуск-16  
**Перлит-273**  
Пригар-155  
Перекося-149  
Подутость-151  
Пригораемость-146  
Подмодельные плиты-45  
Подмодельные щитки - 32  
**Р**  
Раскисление-396  
Расплав-9  
Рафинирование-95  
Разностенность-152  
**С**  
Стояк-48,215  
Спекаемость-146  
Стержни - 10  
Стержневой ящик - 30  
**Т**  
Текучность-24  
**У**  
Усадочные раковины-164  
Ужимина-156  
**Ф**  
Флюс-322  
**Ферросплавы-315**  
**Феррит-272**  
Формовка-46  
**Х**  
Холодные трещины-162  
Холодильники - 10  
**Ц**  
**Цементит-272**  
Циркон - 22  
**Ш**  
Шамот-11  
Шлак-166  
Шлакоуловитель-214,216  
**Шероховатость-354**  
Шлаковая раковина-166  
Штырь-36  
Шихта-396  
**Э**  
Этилсиликат-453  
Электрокорунд - 22

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящее время наблюдается дальнейшее развитие и совершенствование процесса литейного производства. Одним из приоритетных направлений при этом является сокращение потерь металла в процессе производства по сравнению с другими видами обработки металлов. Кроме того, важным является полное устранение ручного труда и обеспечение высокой экологичности производства. С этой целью современные цеха проектируют и строят высокомеханизированными и автоматизированными. Тенденция широкого внедрения автоматического управления с помощью ЭВМ является одной из основных в развитии литейного производства и требует широкого использования результатов научных исследований, создания математических моделей технологических процессов и их реализации в алгоритмах управления техническими системами.

При решении прикладных задач, заключающихся в проектировании нового и повышении производительности существующего оборудования, разработке режимов обработки, повышении качества продукции, создании математических моделей для автоматизированных систем управления технологическими процессами, используется не только теория литейного производства и современные методы экспериментальных исследований, но и смежные науки.

Авторы надеются, что изложенный в учебном пособии материалы поможет будущим специалистам успешно решать задачи, связанные с литейным производством.

В условиях экономической и хозяйственной самостоятельности предприятий образованность, компетентность и профессионализм - важнейшие качества современного специалиста, которые позволяют ему мыслить самостоятельно, творчески, свободно ориентироваться в непрерывно возникающих проблемах производства и грамотно принимать наиболее рациональные технические решения.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Седова М.В. Музыка затвердевания в металле - : Изд-во ООО «Корпорация Левъ», 2002. - 125 с.
2. Технология литейного производства / Б.С. Чуркин [и др.]; УГППУ. - Екатеринбург, 2000. - 199 с.
3. Болдин А.Н. Литейные формовочные материалы. Формовочные, стержневые смеси и покрытия: Справочник / А.Н Болдин, Н.И. Давыдов, С.С. Жуковский и др. - М.: Машиностроение, 2006. – 507с.
4. Технология литейного производства. Формовочные и стержневые смеси: учеб. пособие для вузов / под ред. С.С. Жуковского, А. А. Болдина, А.И. Яковлева. - Брянск: Изд-во БГТУ, 2002. - 470 с.
5. Филиппенков А.А. Стальные отливки / А.А Филиппенков. УрОРАН. - Екатеринбург, 2002. - 275.
6. Воронин Ю.Ф. Атлас литейных дефектов «Черные сплавы» / Ю.Ф. Воронин В.А. Камаев. - М.: Машиностроение, 2005. - 328 с.
7. Дубровин В.К. Технология литейного производства: учеб. пособие / В.К. Дубровин, А.В. Капринский, Л.Г. Знаменский. - Челябинск: Изд-во: ЮУрГУ, 2006. - 145 с.
8. Меркер Р. А. Сталь в литейном производстве : учеб. пособие / Р. А. Меркер, Т. Н. Тюнева; ГАЦМиЗ. - Красноярск, 2000. - 92 с.
9. Коротич, В. И. Начала металлургии : учеб. для вузов / В. И. Коротич, С. С. Набойченко [и др.]. - Екатеринбург: УГТУ, 2000. - 392 с.
10. Непрерывное литье алюминиевых сплавов: справ. / В. И. Напалков, Г. В. Черепок С. В. Махов, Ю. М. Черновол. - М. : Интермет Инжиниринг, 2005. - 512 с.
11. Гини Э. Г. Технология литейного производства: Специальные виды литья : учеб. для студ. высш. учеб. заведений / Э. Г. Гини. - М. : Академия, 2005. - 350 с.

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	4
1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ТЕХНОЛОГИИ ЛИТЬЯ	
1.1. Развитие технологии литья.....	6
1.2. Основные понятия и определения технологии литья.....	9
1.3. Основные понятия литейного производства.....	10
1.4. Основные методы литья.....	11
2. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ЛИТЕЙНОГО ПРОИЗВОДСТВА	
2.1. Схемы технологических процессов получения отливок.....	15
2.2. Формовочные и стержневые смеси.....	21
2.3. Формовочные смеси и способы их упрочнения.....	27
2.4. Модельно-литейная оснастка.....	29
2.5. Материалы для изготовления модельного комплекта. Конструирование моделей.....	36
2.6. Технология изготовления отливок в разовых песчаных формах.....	44
2.7. Ручная формовка в опоках. Почвенная формовка.....	46
2.8. Машинная формовка.....	57
2.9. Способы формовки на автоматических линиях.....	71
2.10. Технологические процессы изготовления стержней.....	83
2.11. Операции, выполняемые при сборке, заливке и охлаждении форм.....	92
2.12. Технология заливки форм. Охлаждение отливок.....	97
2.13. Способы выбивки форм и стержней.....	109
2.14. Обеспечение качества отливок. Контроль технологического процесса изготовления отливок.....	119
2.15. Контроль качества формовочных и стержневых смесей. Выбор смесей.....	133
2.16. Дефекты в отливках. Несоответствие по геометрии.....	147
2.17. Дефекты в отливках. Несплошности в теле отливки.....	159
2.18. Качество литых поверхностей.....	167

2.19.Получение отливок с чистой поверхностью.....	172
2.20.Классификация и показатели точности отливок.....	175
2.21.Разработка технологического процесса изготовления отливок.....	183
2.22.Получение отливок, требуемых размеров и форм.....	192
2.23.Конструирование стержней.....	200
2.24.Классификация прибылей.....	208
2.25.Литниковые системы и требования, предъявляемые к ним.....	214
2.26.Типы литниковых систем. Инженерные методы расчета литниковых систем.....	225
2.27.Холодильники для стальных и чугунных отливок.....	234
2.28.Определение габаритов опок и расчет крепления форм.....	244
2.29.Оформление и порядок разработки технологического процесса.....	250
2.30.Особенности получения отливок из разных сплавов в песчаноглинистых формах.....	256

### 3.ОСНОВЫ ПОЛУЧЕНИЯ ОТЛИВОК ИЗ СПЛАВОВ

3.1.Производство отливок из чугуна.....	269
3.2.Структурные составляющие и свойства сплавов в жидком и твердом состояниях.....	272
3.3.Характеристика служебных и литейных свойств чугуна.....	279
3.4.Влияние химического состава на свойства чугуна.....	283
3.5.Получение отливок из серого чугуна.....	286
3.6.Модификаторы и методы модифицирования при получении серого чугуна с пластинчатым графитом.....	289
3.7.Отливки из чугуна с вермикулярным графитом. Свойства и область применения.....	290
3.8.Особенности подготовки чугуна для модифицирования. Способы введения магниевого модификатора.....	296
3.9.Производство отливок из ковкого чугуна. Марки, состав и свойства ковкого чугуна.....	304

3.10.Производство отливок из легированных чугунов. Классификация, марки, состав и свойства легированных чугунов.....	308
3.11.Первичные металлические материалы для плавки чугуна.....	311
3.12.Ферросплавы. Области их применения.....	315
3.13.Вторичные и вспомогательные шихтовые материалы.....	318
3.14.Плавка чугуна в коксовых вагранках.....	323
3.15.Плавка в электрических дуговых печах.....	329
3.16.Плавка в индукционных печах.....	339
3.17.Плавка чугуна дуплекс-процессами.....	345
3.18.Дефекты в чугунных отливках и способы их предотвращения исправления.....	350
3.19.Контроль качества чугунных отливок.....	353
3.20.Производство отливок из стали.....	357
3.21.Литейные стали.....	357
3.22.Классификация стали.....	362
3.23.Механические и технологические свойства стали.....	368
3.24.Легирование стали.....	375
3.25.Способы выпечной обработки стали.....	381
3.26.Конвертерное производство стали.....	384
3.27.Выплавка стали в электрических дуговых печах.....	392
3.28.Выплавка стали в открытых индукционных печах. Электрошлаковый переплав.....	399
3.29.Получение и применение отливок из легированных сталей.....	407
3.30.Разливка стали.....	420
<b>4. СПЕЦИАЛЬНЫЕ СПОСОБЫ ЛИТЬЯ</b>	
4.1.Литье в кокиль .....	428
4.2.Литье под давлением.....	434
4.3.Центробежное литье.....	439

4.4.Литье в оболочковые формы.....	445
4.5.Литье по выплавляемым моделям.....	449
4.6.Технология изготовления моделей и керамических форм.....	451
4.7.Получение слитков непрерывным и полунепрерывным способами.....	455
4.8.Получение отливок по газифицируемым моделям.....	461
Контрольные вопросы.....	467
Предметный указатель.....	476
Заключение.....	478
Литература.....	479



## МУНДАРИЖА

Кириш.....	4
1. ҚУЙИШ ТЕХНОЛОГИЯСИ ХАҚИДА УМУМИЙ МАЪЛУМОТЛАР	
1.1.Қуйиш технологиясининг ривожланиши.....	6
1.2. Қуйиш технологиясининг умумий тушунчалари.....	9
1.3 .Қуймакорлик ишлаб чиқариши умумий тушунчалари.....	10
1.4 .Қуйишнинг асосий усуллари.....	11
2.ҚУЙМАКОРЛИК ИШЛАБ ЧИҚАРИШНИНГ ТЕХНОЛОГИК	
АСОСЛАРИ	
2.1.Қуймаларни олиш технологик жараёни схемаси .....	15
2.2.Қолип ва ўзак аралашмалари .....	21
2.3.Қолип аралашмалари ва уларни мустахкамлаш йўллари .....	27
2.4.Қуюв мосламалари анжомлари.....	29
2.5.Мосламатайёрлаш учун ашёлар. Мосламаларни лойихалаш.....	36
2.6.Қум-гилли қолипда қуймаларни олиш технологияси.....	44
2.7.Опокаларда қўлда қолиплаш. Ерда қолиплаш.....	46
2.8.Машинада қолиплаш.....	57
2.9.Автоматик линияларда қолиплаш усуллари.....	71
2.10.Ўзакларни тайёрлаш технологик жараёни .....	83
2.11.Йиғиш, қуйиш ва совутишда бажариладиган жараёнлар .....	92
2.12.Қолипга қуйиш технологияси. Қуймаларни совутиш.....	97
2.13.Қолип ва ўзакларни уриб чиқариш усуллари.....	109
2.14.Қуймаларнинг сифатини таъминлаш. Қуймаларни тайёрлаш жараёни назорати.....	119
2.15.Қолип ва ўзак аралашмаларининг сифат назорати. Аралашмаларни танлаш.....	133
2.16. Қуймалардаги нуқсонлар. Геометрик хатолар.....	147
2.17. Қуймалардаги нуқсонлар. Қуймадаги бўшлиқлар.....	159
2.18.Қуймаларнинг юза тозаликлари.....	167

2.19.Тоза юзали қуймалар олиш.....	172
2.20.Қуймалар аниқлиги қўрсаткичлари ва классификацияси.....	175
2.21.Қуйма олиш технологик жараёнини ишлаб чиқиш.....	183
2.22.Керакли ўлчам ва формада қуймалар олиш.....	192
2.23.Ўзакларни лойихалаш.....	200
2.24.Устамаларлар классификацияси.....	208
2.25.Қуйиш тизимлари, ва уларга қуйиладиган талаблар.....	214
2.26.Қуйиш тизимларининг турлари. Қуйиш тизимларини хисоблаш усуллари.....	225
2.27.Пўлат ва чўян қуймалари учун музлаткичлар.....	234
2.28.Опока габаритлар ўлчови ва қолипларни қотиришни хисоблаш.....	244
2.29.Технологик жараёни ишлаб чиқиш тартиби ва расмийлаштириш.....	250
2.30.Қум-гилли қолипларда хар хил турдаги қотишмалардан қуймалар олиш хусусиятлари .....	256

### 3.ҚОТИШМАЛАРДАН ҚУЙМАЛАР ОЛИШ АСОСЛАРИ

3.1.Чўяндан қуймалар ишлаб чиқариш.....	266
3.2.Қотишмаларнинг суюқ ва қаттиқ ҳолатидаги структура тузилиши ва хоссалари.....	272
3.3.Чўяннинг қуймакорлик ва ишчи хусусиятларитавсифлари.....	279
3.4.Кимёвий таркибнинг чўн хусусиятларига таъсири.....	283
3.5.Кўлранг чўяндан қуймалар олиш.....	285
3.6.Юқори маркадаги пластинкали графитли кулранг чўянни олишда модификаторлар ва модификациялаш усуллари.....	288
3.7.Вермикуляр графитли чўяндан тайёрланган қуймалар. Ишлатилиш сохалари ва хоссалари.....	289
3.8.Чўянни модификациялашга тайёрлаш хусусиятлари. Магнийли модификаторни қўшиш усуллари.....	295
3.9.Болғаланувчан чўяндан қуймалар ишлаб чиқариш.	

Болғаланувчан чўян маркаси, таркиби ва хусусиятлари.....	304
3.10.Легирланган чўядан қуймалар ишлаб чиқариш. Легирланган чўян маркаси, таркиби ва хусусиятлари.....	308
3.11.Чўянни эритиш учун бирламчи материаллар.....	311
3.12. Ферросплавлар.Қўлланилиш сохалари.....	315
3.13.Иккиламчи ҳамда қўшимча шихта материаллари.....	318
3.14.Кокс вагранкасида чўян эритиш.....	322
3.15.Электр-ёй печларда эритиш.....	329
3.16.Индукцион печларда эритиш .....	339
3.17.Дуплекс-жараёнларда чўян эритиш.....	345
3.18.Чўян қуймалардаги нуқсонлар ва уларни йўқотиш усуллари.....	350
3.19.Чўян қуймаларнинг сифат назорати.....	353
3.20.Пўлатдан қуймалар ишлаб чиқариш.....	357
3.21.Қуймакорлик пўлатлари.....	357
3.22.Пўлатларнинг классификацияси.....	362
3.23.Пўлатнинг механик ва технологик хоссалари.....	368
3.24.Пўлатларни легирлаш.....	375
3.25.Пўлатларга печдан ташқари ишлов бериш.....	381
3.26.Пулатларни конверторда ишлаб чиқариш.....	384
3.27.Электр-ёй печларда пўлатлар эритиш.....	392
3.28.Очиқ индукцион печларда пўлат эритиш. Электршлакли эритиш.....	399
3.29.Легирланган пўлатдан қуймалар олиш ва ишлатиш.....	407
3.30.Пўлат қуйиш.....	420

#### 4.ҚУЙМАКОРЛИКНИНГ МАХСУС УСУЛЛАРИ

4.1.Кокилга қуйиш.....	428
4.2.Босим остида қуйиш.....	434
4.3.Марказдан қочма қуч остида қуйиш.....	439
4.4.Оболочкали қолипда қуйиш.....	445

4.5.Эриб чиқиб кетадиган мослама усул билан қуйиш.....	449
4.6.Керамик қолип ва мосламаларни тайёрлаш технологияси.....	451
4.7.Қуймаларни узлуксиз ва ярим узлуксиз усуллар билан олиш.....	455
4.8.Газга айланиб чиқиб кетадиган модел ёрдамида қуйма олиш.....	461
Назорат саволлари.....	467
Глоссарий.....	476
Хулоса.....	478
Адабиётлар.....	479

## CONTENT

### 1. GENERAL INFORMATION ABOUT THE CASTING TECHNOLOGY

1.1. Development of casting technology .....	6
1.2. Basic concepts and definitions of casting technology ... ..	9
1.3. Basic concepts of foundry manufacture ... ..	10
1.4. Basic methods of casting ... ..	11

### 2. TECHNOLOGICAL FOUNDATIONS OF FOUNDRY PRODUCTION

2.1. Schemes of technological processes for obtaining castings ... ..	15
2.2. Formovye and rod mixtures. ....	21
2.3. Formovye mixes and methods of their hardening .. ..	27
2.4. Modelno-foundry outfit .....	29
2.5. Materials for the manufacture of the model kit. Modeling construction.....	36
2.6. Technology of making castings in single sand molds .....	44
2.7. Manual molding in the moldings. Soil molding .. ..	46
2.8. Machine molding .....	57
2.9. Methods of forming on automatic lines .....	71
2.10. Technological processes of rod manufacturing .....	83
2.11. Operations performed during assembly, pouring and cooling of molds .....	92
2.12. Technology of filling shapes. Cooling of castings .. ..	97
2.13. Methods for knocking out forms and rods .. ..	109
2.14. Ensuring the quality of castings. Control of the technological process for the production of castings .....	119
2.15. Control of the quality of molding and core mixtures. Selection of mixtures .....	133
2.16. Defects in castings. Geometry mismatch .....	147
2.17. Defects in castings. Discontinuities in the casting body.....	159
2.18. The quality of the cast surfaces .....	167
2.19. Preparation of castings with a clean surface.....	172
2.20. Classification and precision parameters of castings .....	175

2.21. Development of the technological process for the manufacture of castings .....	183
2.22. Production of castings, required sizes and shapes .....	192
2.23. Construction of rods .....	200
2.24. Profit Classification .....	208
2.25. Listnikovye systems and the requirements shown to them .....	214
2.26. Types of sprue systems. Engineering methods for calculating runner systems .....	225
2.27. Refrigerators for steel and cast-iron castings .....	234
2.28. Determination of envelope dimensions and calculation of fixing of molds .....	244
2.29. Application and procedure for the development of the technological process .....	250
2.30. Features of obtaining castings from different alloys in sandy-argillaceous forms .....	256

### 3. BASICS OF OBTAINING CASTINGS FROM ALLOYS

3.1. Manufacture of castings from cast iron .....	269
3.2. Structural constituents and properties of alloys in liquid and solid states .....	272
3.3. Characteristics of service and foundry properties of cast iron .....	279
3.4. Impact of the chemical composition on the properties of cast iron .....	283
3.5. Preparation of castings from gray cast iron .....	286
3.6. Modifiers and methods for modifying in the production of high-strength grades of gray cast iron with lamellar graphite .....	289
3.7. Castings made of cast iron with vermicular graphite. Properties and area of application .....	290
3.8. Features of the preparation of cast iron for modification. Methods for introducing a magnesium modifier .....	296
3.9. Manufacture of castings from malleable cast iron. Marks, composition and properties of malleable cast iron .....	304

3.10. Production of castings from alloy cast irons. Classification, grades, composition and properties of alloyed cast iron .....	308
3.11. Primary metallic materials for melting cast iron .....	311
3.12. Ferroalloys. Areas of application .....	315
3.13. Secondary and auxiliary charge materials .....	318
3.14. Mining of cast iron in coke furnaces .....	323
3.15. Flaggings in electric arc furnaces .....	329
3.16. Melt in induction furnaces .....	339
3.17. Casting of cast iron by duplex processes .....	345
3.18. Defects in cast iron castings and methods for their prevention and management .....	350
3.19. Quality control of cast iron castings .....	353
3.20. Manufacture of castings from steel .....	357
3.21. Material steels .....	357
3.22. Classification of steel .....	362
3.23. Mechanical and technological properties of steel .....	368
3.24. Declaration of steel .....	375
3.25. Methods for out-of-furnace processing of steel .....	381
3.26. Converter production of steel .....	384
3.27. Welding of steel in electric arc furnaces .....	392
3.28. Electroslag remelting .....	399
3.29. Recovery and use of castings from alloy steels .....	407
3.30. Mining of steel .....	420

#### 4. SPECIAL CASTING METHODS

4.1. Casting into the chill mold .....	428
4.2. Pressure injection .....	434
4.3. Centrifugal casting .....	439
4.4. Molding in shell molds .....	445
4.5. Introduction on waxed models .....	449

4.6. Technology of making models and ceramic molds .....	451
4.7. Relation of ingots by continuous and semi-continuous methods .....	455
4.8. Preparation of castings for gasifying models .....	461
Control questions.....	467
Index.....	476
Conclusion .....	478
Literature .....	479