

МВТУ, кафедра РЛ-3

РОДИОНОВ Е.М.

Конспект лекций по курсу

**«ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ КОНСТРУИРОВАНИЯ
ДЕТАЛЕЙ ОПТИЧЕСКИХ ПРИБОРОВ»**

Раздел 1 – «Технологические основы конструирования деталей,
изготавливаемых литьем»

Редакция 2002 года

ОГЛАВЛЕНИЕ

Глава 1 Общие сведения.....	3
1. Сущность и задача литейного производства.....	3
2. Литые детали ОЭП.....	3
Глава 2 Основные этапы процесса изготовления отливки.....	4
1. Схема процесса изготовления отливки в песчаной форме.	4
2. Основные виды брака отливок.....	10
Глава 3 Свойства литейных сплавов и их влияние на качество отливки.....	12
1. Качество отливки, факторы влияющие на качество.....	12
2. Свойства литейных сплавов.....	12
3. Жидкотекучесть.....	13
4. Кристаллизация.....	15
5. Явления, сопровождающие затвердевание отливки.....	18
6. Газы.....	25
7. Неметаллические включения.....	27
8. Ликвация.....	27
9. Напряжения в отливках и их последствия.....	27
Глава 4 Литейные сплавы и их характеристики.....	28
1. Чугуны.....	28
2. Стали.....	29
3. Алюминиевые сплавы.....	30
4. Магниеые сплавы.....	32
5. Сплавы на медной основе.....	33
6. Титан и его сплавы.....	33
Глава 5 Характеристика основных способов литья, применяемых в приборостроении.....	33
1. Литье по ЖСС.....	33
2. Литье в оболочковые формы.....	36
3. Литье по выплавляемым моделям.....	38
4. Литье в кокиль.....	41
5. Литье под давлением.....	42
6. Центробежное литье.....	49
Глава 6 Рекомендации по конструированию отливок.....	52
1. Конструктивные характеристики литой детали.....	52
2. Основные критерии выбора материала.....	53
3. Определение и нанесение размеров.....	71
3.1 Литейные базы. Базы механической обработки.....	71
3.2 Колебания размеров отливки и их влияние на конструкцию.....	73
4. Нанесение размеров.....	74
5. Точность размеров отливок.....	77

Глава 1 Общие сведения

1. Сущность и задача литейного производства

Литейным производством называют вид производства, занимающийся изготовлением фасонных деталей или заготовок путем заливки расплавленного металла в заранее подготовленную форму, (литейная форма – приспособление, образующее рабочую полость, при заливке которой расплавленный металл формирует отливку) полость которой имеет конфигурацию детали. После затвердевания металла в форме получается отливка (литая деталь или заготовка).

Задачей литейного производства является изготовление из литейных сплавов отливок, имеющих разнообразные очертания с максимальным приближением их формы и размеров к форме и размерам готовой детали.

Как уже указывалось, отливки получают в специальных формах. Формы можно получать различными способами и из различных материалов. По степени использования формы делятся на разовые, полупостоянные и постоянные.

Разовые формы служат один раз и разрушаются при удалении отливки. Разовые формы делают из кварцевого песка, отдельные зерна которого соединяются с помощью связующих материалов.

В некоторых формах, изготовленных из керамических материалов, удается получить несколько отливок- такие формы называют полупостоянными.

Формы, выдерживающие от нескольких десятков до сотен тысяч отливок, называют постоянными. Наибольшее распространение получили чугунные и стальные постоянные формы.

Изготовление отливок постоянного размера, различной формы сложности из сплавов, отличающихся по многим свойствам, нельзя осуществить одними и теми же производственными способами. Поэтому получили распространение многие технологические процессы, каждый из которых, сохраняя в основе сущность литья, отличается специфическими производственными приемами.

В настоящее время в промышленности применяется около 15 способов литья. Причем, каждому способу соответствует своя форма, изготовленная из того или иного материала. В приборостроении применяются следующие виды литья: литье в песчаные формы, литье по ЖСС (жидкие самотвердеющие смеси), литье в оболочковые формы, литье в кокиль (металлические формы), литье по выплавляемым моделям, литье под давлением, центробежное литье.

2. Литые детали ОЭП

Отливки составляют почти половину деталей всех приборов и аппаратов, выпускаемых разными отраслями приборостроения. Они широко используются там, где необходимо обеспечить высокие требования в отношении прочности, твердости, плотности, упругости, пластичности, сопротивления истираемости, малой хрупкости, высокой вязкости, жесткости, теплопроводности, жаростойкости, электропроводности, магнитных свойств, сопротивления коррозии и т. д.

Масса отливок колеблется в очень широких пределах: от нескольких граммов до нескольких десятков килограмм.

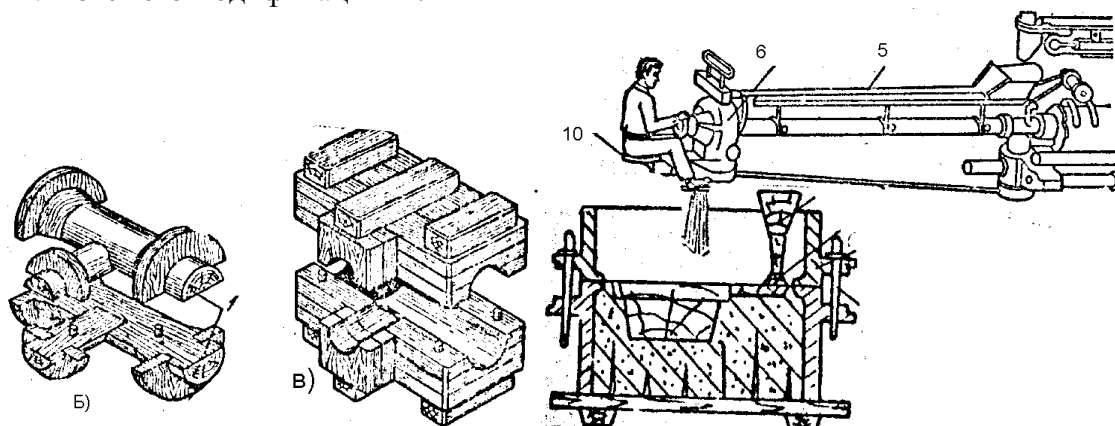
Конфигурация отливок может быть любой, она определяется возможностью изготовления технологической оснастки и формы, минимальной толщиной полости, которую способен заполнить металл, и экономическими расчетам, позволяющими сравнить стоимость изготовления отливки и аналогичного изделия, полученным другим способом.

В оптическом производстве литьем получают корпуса фотоаппаратов, кинокамер, биноклей и других оптических приборов, размеры которых от 80 до 1000 мм. Кроме того, литьем изготавливают различные кронштейны, стойки, опоры, станины измерительных приборов, заготовки зубчатых колес, цапфы и другие детали различного веса и конфигурации.

Глава 2 Основные этапы процесса изготовления отливки

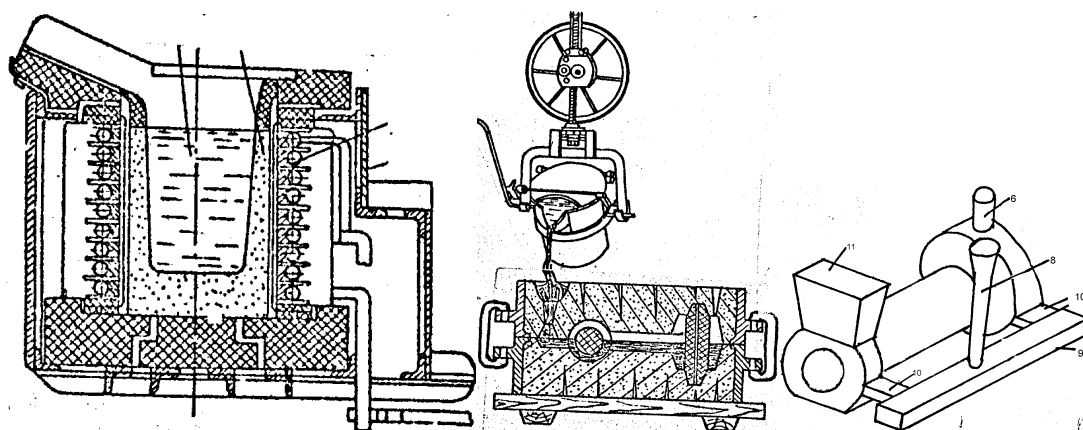
1. Схема процесса изготовления отливки в песчаной форме.

Отливки изготавливают в литейном цехе. Последовательность технологического процесса их изготовления (рис. 1) рассмотрим на примере литья в песчаные формы, так как этот способ литья включает все этапы, составляющие сущность литейного производства, а другие способы литья являются его модификациями.



Изготовление моделей и стержневых ящиков

Изготовление формы



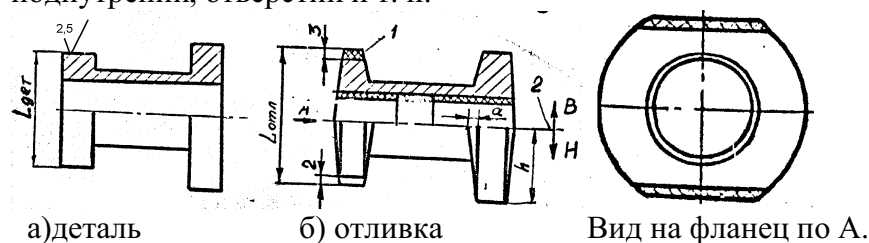
Плавка сплава

Заливка формы сплавом

Отливка с литниковой системой

Рис.1 Этапы процесса литья

Разработка чертежа отливки. Исходным документом для разработки чертежа отливки является чертеж детали (рис. 2). На который наносят следующие указания по изготовлению модели и отливки: положение отливки в форме (определяется указанием плоскости разъема верха и низа по расположению отливки в форме); припуск на механическую обработку 1; технологические припуски (уклоны и др.), опознавательные данные и другие требования; кроме того, определяют возможность изготовления данным методом литья поднутрений, отверстий и т. п.



а) деталь

б) отливка

Вид на фланец по А.

Рис.2

Расположение плоскости разъема устанавливают исходя из следующего:

1. Обрабатываемые поверхности отливки должны находиться внизу;
2. Более высокую часть отливки следует располагать в нижней полуформе;
3. Избегать криволинейных разъемов;
4. Обеспечения более легкого удаления модели из формы.

Плоскость разъема обозначают знаком \sim , где В- верх, а Н- низ формы.

Припуск на механическую обработку это дополнительный слой металла 1 (рис. 2), который удаляют в процессе механической обработки отливки, чтобы обеспечить точность и шероховатость поверхности, которые невозможно было выполнить выбранным способом литья. Величина припуска зависит от расположения отливки в форме. Обычно верхний припуск больше нижнего. На чертеже отливки припуск обозначают штриховкой или красным карандашом.

Литейные уклоны служат для удобства извлечения моделей или отливок (при литье под давлением и в кокиль) из формы. Уклоны назначают на поверхности

отливки, расположенные перпендикулярно плоскости разъема. Размеры уклонов обозначают буквой «а» (в миллиметрах или градусах). В зависимости от высоты h модели или отливки уклон регламентируемый ГОСТом, составляет 1-8 мм или $0,5-3,0^\circ$.

Опознавательные данные - необходимые размеры, марка сплава, масса сплава отливки и др. наносят на чертеж отливки.

Изготовление модели и стержневого ящика. Обычно форма изготавливается из формовочной смеси (формовочная смесь – многокомпонентная смесь формовочных материалов, формовочные материалы – природные и искусственные материалы (песок, глина, вода и другие), используемые для приготовления формовочных смесей) по модели. Модель – это приспособление для получения в форме отпечатка, соответствующей конфигурации и размерам отливки. Для упрощения процесса изготовления формы чаще всего модель делят на две части, по которым отдельно выполняют полуформы (эскиз модели см. рис. 4). Для соединения частей модели предусматривают центрирующие штыри. Поверхность модели должна быть гладкой, чистой, чтобы при извлечении ее из формы, она легко отделялась от формовочной смеси.

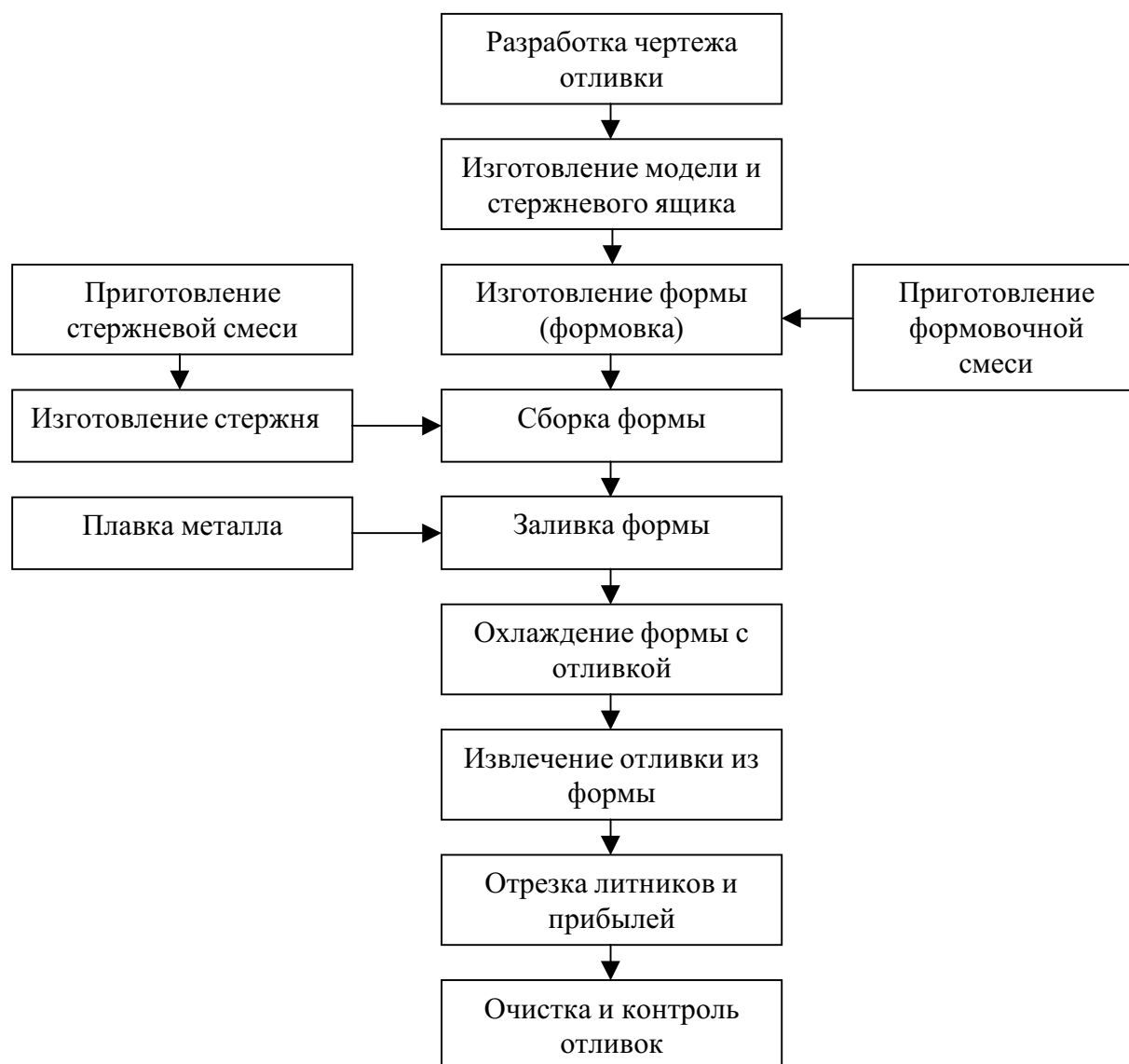


Рис. 3 Последовательность изготовления отливки.

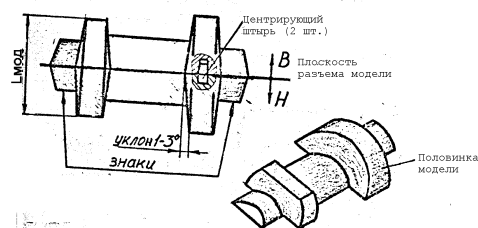


Рис. 4 Эскиз модели.

Отверстия или внутренние полости отливки оформляются отдельными частями формы – стержнями, (литейный стержень- элемент литейной формы для образования отверстия, полости или иного сложного контура отливки) которые изготавливаются в стержневых ящиках (стержневой ящик- приспособление, имеющее рабочую полость для получения в ней стержня нужных размеров и очертаний из стержневой смеси). Стержни устанавливаются в форме в специальных углублениях, которые оформляются знаками моделей. Модели и стержневые ящики делают из древесины, металла, пластмассы и гораздо реже из других материалов. Выбор материала зависит в основном, от типа производства, числа изготавливаемых отливок и требований, которые предъявляются к отливке в отношении точности размеров и шероховатости поверхности (эскиз стержневого ящика см. рис. 5)

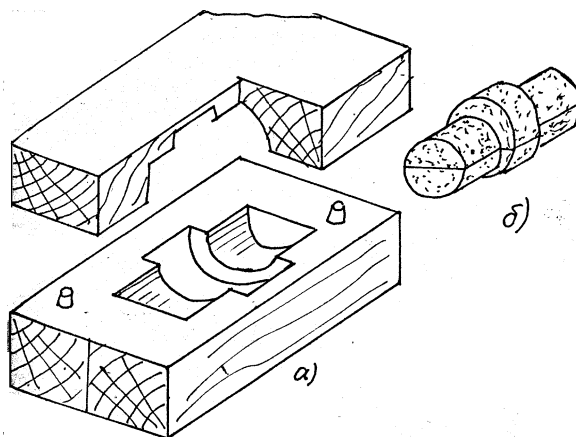


Рис. 5. (а – стержневой ящик, б - стержень).

При конструировании моделей и стержневых ящиков учитывают величину усадки металла отливки, поэтому размеры модели больше размеров отливки.

$$L_{\text{мод}} = L_{\text{отл.}} + L_{\text{отл.}} \cdot K / 100$$

где K- линейная осадка металла, выражается в процентах и колеблется в значительных пределах для разных сплавов: чугуна 0,8-1,2 %, углеродистой стали 1,5-2,0 %, алюминиевых сплавов 1,5-2,0%.

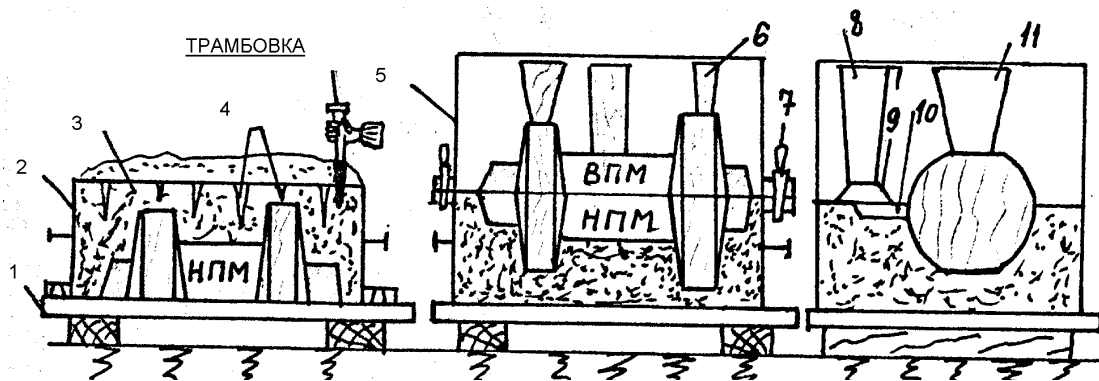
Формовочные и стержневые смеси и их приготовление. Форма изготавливается из формовочной смеси. Формовочная смесь для литья алюминиевых сплавов состоит из кварцевого песка – 60 %, глины – 30%, крепителя (сульфитная барда) – 3%, противопригарная добавка (бентонит – 2%), вода – 5%. Так как стержни испытывают более высокие нагрузки при сборке и заливке формы, то используют смесь, позволяющие получить их более повышенную прочность.

Для алюминиевых отливок применяется стержневая смесь следующего состава: песок кварцевый – 87%, глина – 8%, крепитель – 5%.

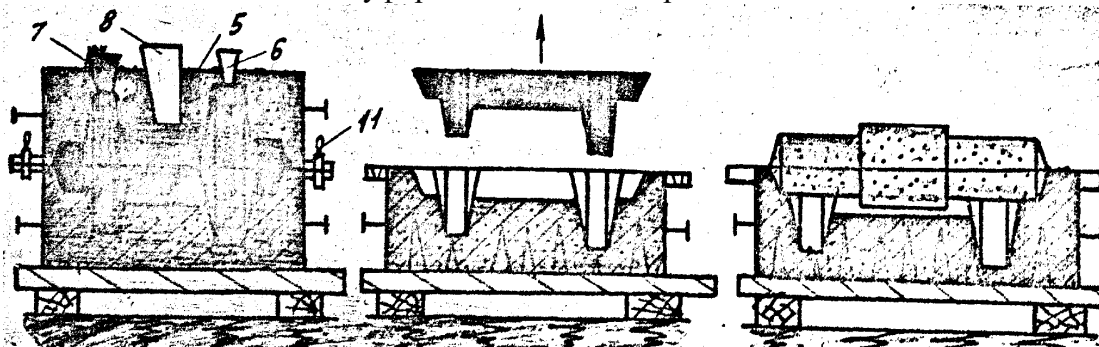
Формовочные и стержневые смеси должны иметь хорошую пластичность, текучесть, газопроницаемость, достаточно высокую прочность и противопригарность. Текучесть – способность смеси под действием внешних сил заполнять полость стержневого ящика или обтекать модель. Газопроницаемость – способность формы и стержня пропускать газы, выделяющиеся из формовочных и стержневых смесей при заливке сплава. Если газопроницаемость смеси недостаточна, то газы могут попасть в сплав, что вызовет брак отливок по газовым раковинам. Противопригарность – способность смесей не спекаться и не сплавляться с расплавленным металлом.

Формовочная смесь готовится при перемешивании составляющих компонентов в специальных смешивающих бегунах.

Изготовление формы и стержней. При литье в землю формы изготавливают разъемные, т.е. состоящие обычно из двух полуформ. Последовательность действий при изготовлении полуформ ручной формовкой следующая (схема формовки и сборки формы показана на рис. 7). На модельную плиту 1 устанавливают нижнюю половину детали (НПМ), модель питателя 10 и нижнюю опоку 2. Литейная опока – рамка с перфорированными стенками для удержания формовочной смеси при изготовлении литейной формы. В опоку насыпают формовочную смесь 3 и уплотняют ее различными способами: вручную с помощью трамбовки или машинами- прессованием, встряхиванием и другими способами. После уплотнения излишки формовочной смеси удаляются линейкой и со стороны уплотнения металлической иглой делают вентиляционные наколы 4 для удаления из формы воздуха и газов при заливке ее металлом. Затем нижнюю опоку 2 вместе с землей и моделью переворачивают на 180° и устанавливают на подмодельной плите так, что модель находится сверху. С помощью центрирующих штырей устанавливают вторую половину модели, а по штырям 7 ставят верхнюю опоку 5. В верхней полуформе кроме рабочей полости делают каналы литниковой системы (ЛС), по которым в полость поступает жидкий металл. Литниковая система, состоящая из стояка 8, коллектора 9 и питателей 10, это система каналов и элементов формы для подвода в ее полость расплавленного металла, обеспечивающая заполнение и питание отливки при затвердевании. Для удаления воздуха из полости формы делают специальные каналы 6, которые называют выпоры. Часто в форме делают дополнительную полость - ПРИБЫЛЬ (П). Более подробно назначение прибыли будет рассмотрено ниже. После того как смесь в верхней опоке уплотнена полуформы разнимаются и из них извлекаются половинки моделей и элементы, оформляющие литниковую систему.



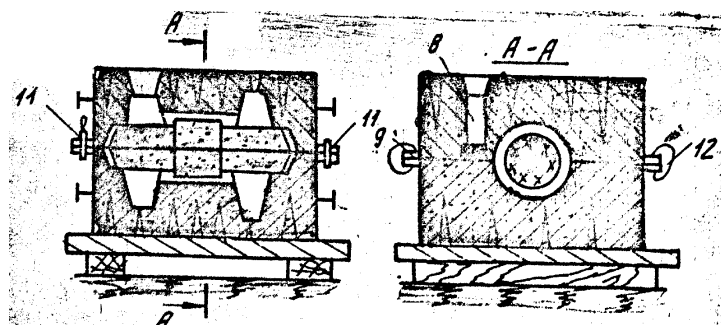
Изготовление нижней полуформы. Установка верхней половины модели и л.с.



Изготовление верхней полуформы

Извлечение модели из нижней полуформы

Установка стержня



Форма в сборке

Рис. 7 Схема формовки.

При изготовлении стержня смесь засыпается отдельно в каждую половину ящика, уплотняется, зачищается и по плоскости разъема промазывается клеем. Затем половинки ящика соединяются по центрирующим штырям, половинки стержней склеиваются и целиком стержень извлекается из ящика, после чего он отправляется на сушку, так как невысушенные стержни имеют небольшую прочность. После просушивания при температуре 150-300° стержень становится достаточно прочным и его можно устанавливать в форму.

Сборка формы. Тщательность сборки в значительной мере определяет точность размеров отливки, образование заливов и трудоемкость их зачистки. Сборку начинают с продувки нижней полуформы сжатым воздухом для удаления сора и пыли, попавших при извлечении модели и ремонте полуформы. В чистую полость полуформы устанавливают стержни. После этого нижнюю полуформу накрывают верхней. Операцию осуществляют плавно, тщательно без перекосов верхней полуформы относительно нижней. Точность совмещения нижней и

верхней полуформ обеспечивается центрирующими штырями 7. Для предотвращения подъема верхней полуформы статическим давлением металла ее скрепляют с нижней полуформой скобами 12 или ставят грузы.

Заливка форм сплавом. (рис. 1). Сплав заливают в форму с помощью ковшей ручных или крановых, в зависимости от веса отливки. Принимают следующую температуру заливаемого сплава: стали 1500-1600°, алюминиевых сплавов 700-780°, магниевых сплавов 680-780°.

Охлаждение формы. Длительность охлаждения отливок в форме определяется теплосодержанием металла, толщиной стенок отливки, теплофизическими свойствами формы, склонностью сплава к образованию трещин. Для небольших простых отливок со стенками малой толщины продолжительность охлаждения в форме исчисляется минутами.

Выбивка отливок из формы. После охлаждения металла в форме отливку из нее удаляют (выбивают), при этом форма разрушается. Выбивку отливок из формы можно выполнять, когда температура мелких стальных отливок достигает 700-800°С, средних 400-500°С. Алюминиевые отливки извлекаются при температуре 200-300°С. Выбивка литейных форм в цехах серийного и массового производства осуществляется специальными механизмами – выбивными решетками. На рис. 1 показана отливка с литниковой системой после выбивки ее из формы.

Отрезка литников прибылей и выпоров. Литники чугуновых отливок выбивают. Литники отливок из вязких металлов удаляют дисковыми или ленточными пилами: первыми чаще литники стальных отливок, вторыми литники отливок из цветных металлов. Прибыли стальных отливок удаляются газорезкой, а прибыли из цветных металлов отрезают пилами.

Очистка отливок. После выбивки отливок из формы на их поверхности остается пригоревшая формовочная смесь, заливы которые очищаются в обрубном отделении цеха. Применяются следующие способы очистки отливок. Дробометная или дробоструйная обработка струей чугунной или стальной дроби, направляемой на поверхность отливки с большой скоростью. Обработка ударным действием гидравлической или пескогидравлической струи. На поверхность отливки направляют струю воды с песком под давлением 35 атм. и очищают ее пригоревшей к ней формовочной смеси.

2. Основные виды брака отливок

Брак может быть вызван несоблюдением технологии, ошибками при конструировании деталей и при проектировании технологического процесса изготовления отливки.

Короблением называется изменение размеров и контуров отливки под влиянием усадочных напряжений. Причинами этого вида брака могут быть нерациональность конструкции отливки (например, разностенность), что приводит к образованию внутренних напряжений; неправильный подвод металла, ухудшающий равномерность его остывания; неправильный состав или температура заливаемого металла, вызывающие чрезмерную усадку; неправильный режим охлаждения отливки и недостаточная податливость формы и стержней.

Газовыми раковинами называются полости, расположенные на поверхности или внутри отливки. Форма раковины сферическая или округленная, поверхность

гладкая блестящая. Раковины могут быть одиночными или расположенными гнездами различного объема (газовая пористость). В большинстве случаев раковины обнаруживаются при механической обработке.

Газовые раковины появляются в том случае, когда в металле большое содержание газов вследствие плохого качества исходных материалов, неправильного режима плавки.

Песчаными раковинами называются закрытые или открытые раковины. Полностью или частично заполненные формовочным материалом. Причины такого брака следующие: местное разрушение или засорение форм при сборке; недостаточная прочность формовочной и стержневой смесей, а также отсутствие или недостаточность литейного уклона в отливке, или красок; применение неисправных моделей, что приводит к осыпанию формовочной смеси; неправильное конструирование отъемных частей модели; недостаточное крепление выступающих частей формы; слабая или неравномерная набивка форм и стержней; несоответствие размеров знака стержней и формы, что приводит к обжиму формы и засорению ее при сборке; неправильный подвод литниковой системы, что приводит к размыву формы или стержня, обвал формы при установке груза; нетехнологичность конструкции отливки, т.е. наличие в ней углублений, которые образуют непрочные тонкие выступы и острые углы в форме.

Усадочными раковинами называются открытые или закрытые пустоты в теле отливки, имеющие шероховатую поверхность с грубокристаллическим строением.

Рыхлотами или пористостью называется крупнозернистое и неплотное строение сплава с наличием межкристаллических пустот большей или меньшей величины (усадочная пористость).

Причинами брака по усадочным раковинам и рыхлотам могут быть неправильная конструкция отливки, не обеспечивающая равномерного ее охлаждения (имеются местные скопления металла); недостаточное питание отливки жидким металлом в процессе затвердевания из-за неправильного расположения прибылей, выпоров и литников; неправильные размеры и установка холодильников (металлических вкладышей); повышенное содержание элементов, увеличивающих усадку; чрезмерно высокая температура заливки.

Трещинами горячими и холодными называют сквозные и несквозные разрывы или надрывы в стенках отливок. Поверхности излома в горячих трещинах, поскольку они появляются при высоких температурах, всегда окислены; в холодных трещинах поверхность излома совершенно чистая или покрыта легким цветом побежалости. Трещины обнаруживаются постукиванием, гидропробой и способом магнитной дефектоскопии.

Причинами появления горячих и холодных трещин могут быть неправильная конструкция отливки с резким переходом от толстых к тонким сечениям; острые внутренние углы в отливках; сопротивление форм и стержней нормальной усадке металла из-за чрезмерной плотности набивки; неправильно подготовленный состав формовочной и стержневой смесей и малая их податливость; неправильное расположение ребер опор или каркасов в стержнях, что препятствует усадке отливки; неправильный химический состав, т.е. повышенное содержание элементов, увеличивающих усадку или уменьшающих предел прочности при высоких температурах; неправильный режим заливки и

термической обработки; заливка слишком горячим металлом и неправильный подвод металла, что уменьшает равномерное остывание отдельных частей отливки; удары при отбивке литников или при транспортировке отливок, имеющих большие внутренние напряжения.

Недолив и спай. Недолив характеризуется тем, что при заливке некоторые части отливки остаются незаполненными. Спай – сквозные или поверхностные с закругленными краями потоки преждевременно застывшего металла. Причинами такого брака являются недостаточное количество металла в ковше; низкая температура сплава при заливке и недостаточная его жидкотекучесть; утечка металла из формы вследствие неплотной сборки; недостаточная вентиляция формы и стержня, вызывающее повышенное давление газов в форме; недостаточное сечение литниковой системы; нерациональная конструкция отливки из-за наличия слишком тонких стенок.

Глава 3 Свойства литейных сплавов и их влияние на качество отливки

1. Качество отливки, факторы влияющие на качество

Под качеством отливки понимается точность размеров, шероховатость поверхности, физико-химические свойства, герметичность и пористость. Операции заливки и охлаждения формы оказывают основное влияние на формирование качества отливок независимо от того, каким они способом изготавливаются. Возможность получения доброкачественных тонкостенных отливок, сложных по форме или больших по размерам, без раковин, трещин пригара и других литейных эффектов предопределяется качеством и свойствами формы (теплопроводностью) и литейными свойствами сплавов. Влияние этих факторов и проявляется именно при заливке жидкого металла в форму и в процессе ее охлаждения.

2. Свойства литейных сплавов

Качество металлов и сплавов оценивают по их свойствам. Свойства сплавов бывают: физические (теплопроводность), химические (коррозионная стойкость), механические (прочность, твердость и другие) и технологические.

К технологическим свойствам относят: обрабатываемость, свариваемость, ковкость, герметичность и литейные свойства.

Обрабатываемость – способность материалов обрабатываться режущими абразивными или иными инструментами.

Свариваемость – способность материалов образовывать сварное соединение, свойства которого близки к свойствам основного материала.

Ковкость – способность металлов и сплавов подвергаться различным видам обработки давлением. Ковкость характеризуется пластичностью и сопротивлением деформации.

Герметичность – способность материала не пропускать жидкость или газ при избыточном или пониженном давлении.

К основным литейным свойствам сплава относят следующее:

1. Жидкотекучесть – способность сплавов в жидком состоянии заполнять формы и точно воспроизводить их очертания в отливке.
2. Склонность к образованию в результате кристаллизации структуры сплава (кристаллизация).
3. Усадка и склонность к образованию усадочных раковин и пор.
4. Склонность к поглощению газов и образованию по этой причине дефектов в отливках (газы).
5. Склонность к образованию неметаллических включений.
6. Склонность к ликвации.
7. Склонность к образованию литейных напряжений и трещин.

Значение литейных свойств очень велико и должно быть учтено в следующих случаях:

1. В процессе создания и проектирования отливки; надежность и долговечность изделий в значительной степени предопределяется литейными свойствами используемого для их изготовления сплава.
2. При разработке технологического процесса изготовления отливок.

Рассмотрим более подробно литейные свойства сплавов и их влияние на формирование качества отливок.

3. Жидкотекучесть

Правильное представление о жидкотекучести различных сплавов можно получить только при соблюдении постоянства таких факторов, как конфигурация и размеры полостей, через которые течет расплав, и свойства формы. Поэтому жидкотекучесть сплавов определяют по стандартной пробе, отлитой в песчаную форму при постоянной температуре заливки. Наиболее простая проба имеет вид прутка и получается в форме, имеющей заливочную чашу стандартной величины H , для того чтобы обеспечить постоянство напора, и канал D калиброванного диаметра. Жидкотекучесть того или иного сплава определяется по длине пути l прутка. Чем длиннее пруток, тем больше жидкотекучесть сплава (см. рис. 8) Жидкотекучесть одного и того же сплава различна при различных температурах заливки $t_{зал}$. Это хорошо иллюстрируется диаграммой состояния сплава (рис. 9). При охлаждении сплав способен течь до определенной температурой ниже ликвидуса (линия 2). Эта температура называется температурой нулевой текучести (линия 3). У сплавов данной системы (А-В) температура нулевой текучести объясняется следующим. После того, как температура опустилась ниже ликвидуса (меньше t_1) произошло выделение твердой фазы из расплава, при этом получившаяся композиция представляет собой суспензию твердой фазы в жидкой. Появившаяся твердая фаза оказывает сопротивление продвижению сплава и при увеличении ее до 20-30% (что происходит при температуре t_0) от всей композиции движение расплава прекращается вовсе, хотя жидкая фаза в сплаве присутствует, так как его температура выше температуры полного затвердевания или выше линии солидуса 1. Из диаграммы видно, что сплавы эвтектического состава имеют большую жидкотекучесть, чем затвердевающие в интервале температур t_1-t_2 , т.е. жидкотекучесть зависит от состава сплава, что иллюстрируется диаграммой состав-текучесть (рис.9). Жидкотекучесть сплава кроме интервала

затвердевания и перегрева сплава, зависит от его физических свойств: вязкости и поверхностного натяжения.

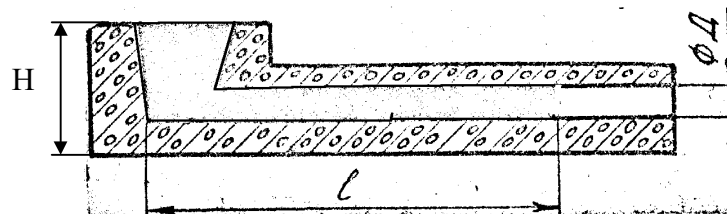


Рис.8 Измерение жидкотекучести.

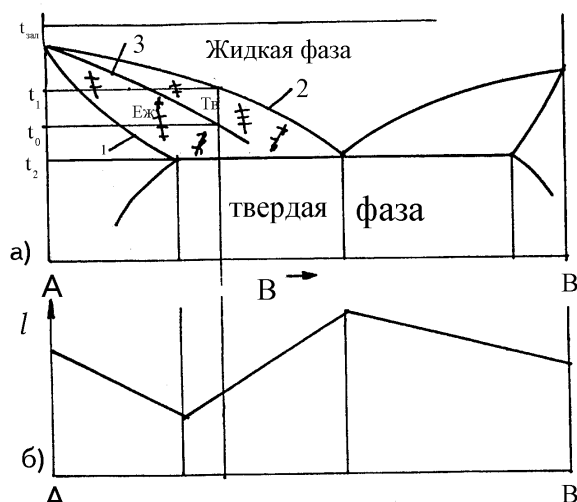


Рис.9 Зависимость жидкотекучести от состава сплава.

Вязкость сплавов – свойство динамическое и поэтому проявляется, когда расплав находится в движении. Это сила, которая возникает от взаимного трения частиц расплава, движущихся внутри потока с неодинаковой скоростью. Называется она динамической вязкостью и измеряется в пуазах. Чем выше вязкость, тем меньше жидкотекучесть.

Поверхностное натяжение нельзя рассматривать только как свойства сплава без учета среды, с которой расплав соприкасается (атмосфера или форма). Это свойство проявляется лишь на поверхности контакта. Каждый атом на поверхности расплава с разной силой связан с соседним атомом среды. Таким образом, силы связи на поверхности сплава не уравновешены. Если силы связи атома на поверхности расплава с соседними атомами последнего преобладают над силами связи с соседними атомами среды, атом тем сильнее будет удерживаться на поверхности расплава, чем больше равнодействующая этих сил, т.е. чем больше поверхностное натяжение расплава. При большом поверхностном натяжении расплав не смачивает поверхность соседней среды и не проникает в нее. Если же, наоборот, преобладают силы связи атомов, находящихся на поверхности расплава, с атомами соседней среды, атомы сплава будут проникать в соседнюю среду. В этом случае поверхностное натяжение обусловит смачиваемость среды расплавом. Смачиваемость формы проходит под действием капиллярных сил, которые как бы втягивают расплав между зернами песка на рабочей поверхности формы; в результате отливка получается с механическим пригаром. Смачиваемость и несмачиваемость имеют и

положительные и отрицательные стороны. Для очень тонкостенных отливок желательно, чтобы расплав смачивал форму для лучшего заполнения формы. Толстостенным отливкам не угрожает недолив, но они могут получиться с пригаром, поэтому предпочтительна несмачиваемость формы.

4. Кристаллизация

Когда температура расплава снижается при данном давлении ниже температуры начала затвердевания, сплав изменяют агрегатное состояние. Такое изменение агрегатного состояния называют первичной кристаллизацией или затвердеванием. Хотя оба термина имеют довольно сходное содержание, они отражают различие в характере процесса: под первичной кристаллизацией понимается образование из расплава отдельных кристаллов и кристаллических зон в отливке, имеющих определенное строение, которое влияет на свойства литых изделий. Затвердевание же подразумевает увеличение количества твердой и уменьшение жидкой фазы в разных частях отливки независимо от характера образующихся первичных кристаллов. Первичная кристаллизация имеет для отливок гораздо большее значение, так как от нее зависит и вторичная, поэтому первичную кристаллизацию можно считать и решающим фактором, определяющим механические свойства отливок. Дефекты, возникающие при первичной кристаллизации, нельзя исправить термообработкой, и они проявляются в местных ухудшениях таких свойств отливки как: прочность, удлинение, сужение, ударная вязкость, изноустойчивость. В связи с этим возникает необходимость в управлении процессом первичной кристаллизации. Для этого надо уметь управлять строением отдельных кристаллов и кристаллических зон. Несмотря на многие попытки, эта проблема окончательно не решена. Ведь действительная прочность металлических материалов составляет только долю теоретической прочности, которая определяется межатомными силами. Такое различие вызывается субмикроскопическими и иными дефектами как внутри кристаллов, так и на их границах. В лабораториях выращены бездефектные кристаллы железа с пределом прочности при растяжении более 1000 кгс/мм^2 (прочность углеродистой стали 40 кгс/мм^2). Попытки повысить механические свойства путем создания отливки монокристалла не оправданы. Приходится идти обратным путем- так влиять на первичную кристаллизацию, чтобы получить множество мелких кристаллов, что также позволяет достигнуть высоких механических свойств. Чтобы иметь возможность влиять на процесс первичной кристаллизации, надо знать основные закономерности кристаллизации. На процесс кристаллизации оказывает влияние не только технолог-литейщик, но и в значительной мере конструктор, создающий деталь. Для образования кристалла из расплава требуется зародыш, или центр кристаллизации. Зародыши кристаллизации могут иметь различное происхождение. Одни зародыши образуются самопроизвольно в переохлажденном расплаве при быстром охлаждении, другие, самопроизвольные зародыши, могут быть продуктами реакций металлургического процесса или попасть в расплав извне, например из футеровки (обкладки) плавильной плечи или ковша. Из зародыша кристаллизации при благоприятных условиях, а именно, если охлаждение, зародыша продолжается, может вырасти первичный кристалл определенных форм и размера. Форма и внутренне строение первичного кристалла зависят от

того, с какой скоростью идет охлаждение, каково поверхностное натяжение на границе между твердой и жидкими фазами сплава, и наконец, от числа активных зародышей в единице объема расплава (чем их больше, тем мельче будут кристаллы, и наоборот). Внутреннее строение и форма первичного кристалла обуславливается соотношением интенсивности теплового потока и величиной поверхностного натяжения между твердой и жидкими фазами. Если поверхностное натяжение велико, а тепловой поток слаб, образуются кристаллы с грубым внутренним строением (глобулиты) с незначительным разветвлением осей. Такие кристаллы растут одинаково быстро от граней, ребер и вершин зародыша (рис. 10). При меньшем поверхностном натяжении и увеличении теплового потока из зародыша получается древовидное образование, так называемый дендрит, на котором в дальнейшем затвердевает расплав. Пока отношение между поверхностным натяжением и скоростью охлаждения не достигнет нужного значения, дендрит растет приблизительно одинаково во всех направлениях. Образуется так называемый равноосный первичный дендрит или первичный кристалл. Его внутреннее строение мельче и сложнее чем у глобулита (см. рис. 10). Чем более интенсивен тепловой поток (больше скорость охлаждения) при том же или меньшем поверхностном натяжении, тем мельче и сложнее поверхностное натяжение кристалла. В этом случае при значительном увеличении скорости охлаждения при направленности теплового потока уже будут получаться кристаллы не равноосные, а вытянутые в направлении наибольшего теплового потока. Такие кристаллы имеют вид столбиков, почему и называются столбчатыми. Их внутреннее дендритное строение еще мельче и сложнее, чем у равноосных кристаллов (рис. 10). При дальнейшем увеличении скорости охлаждения получается структура, называемая литейной коркой состоящая из многочисленных мелких кристалликов с дисперсным внутренним строением. Химический состав корки в разных местах почти одинаков. Вследствие указанных обстоятельств литейная корка имеет превосходные механические и другие свойства. Идеалом было бы достигнуть по всему сечению отливки такой структуры, какую имеет литейная корка, т.е. состоящей из мелких кристаллов с весьма тонким внутренним строением. Чтобы получить кристаллики с тонким строением и при том мелкие, надо расплав наряду с быстрым охлаждением либо модифицировать (модифицирование введение в расплав веществ, обычно в малых количествах, которые способствуют кристаллизации структурных составляющих в измельченной форме), чтобы увеличить число зародышей, либо подвергнуть внешнему силовому воздействию в процессе кристаллизации, чтобы разрушить образовавшиеся кристаллические скелеты и получить мелкие обломки. Так как силовое воздействие на песчаную форму не возможно, то на расплав воздействуют в процессе заполнения формы, осуществляя заливку через вибрирующую воронку. При литье под давлением силовое воздействие на сплав оказывается непосредственно в форме. По окончании заливки расплав в форме становится относительно спокойным. Кристаллизация отливок происходит в разных условиях, зависящих от различных факторов. Рассмотрим некоторые из них.

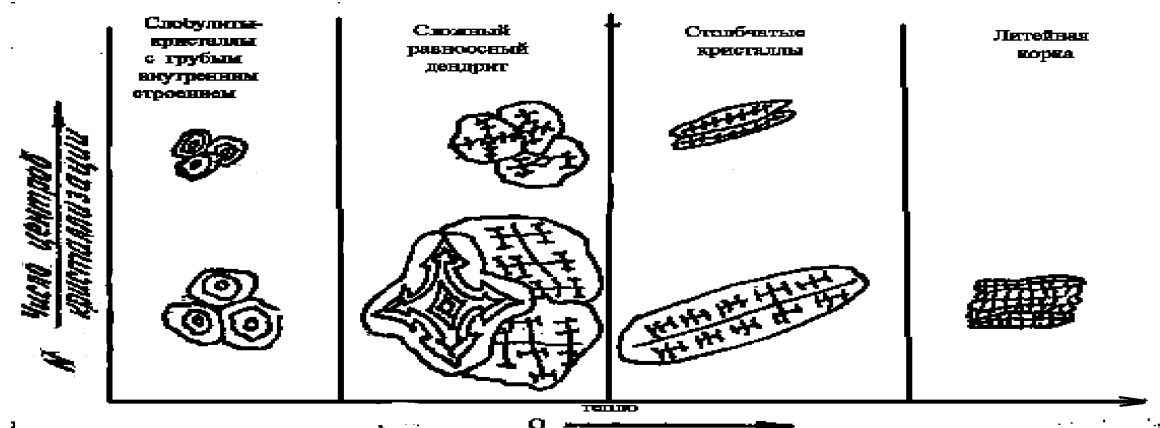


Рис. 10 Схема образования структуры сплава.

Влияние формы. На рис. 11 сопоставлены отливки, полученные в песчаной (слева) и металлической (справа) формах 4 при прочих равных условиях. У отливки в песчаной форме тонкая литейная корка 1 и слабо развитая столбчатая зона 2, что обусловлено более слабым тепловым потоком. Столбчатые кристаллы имеют более крупное внутренне строение.

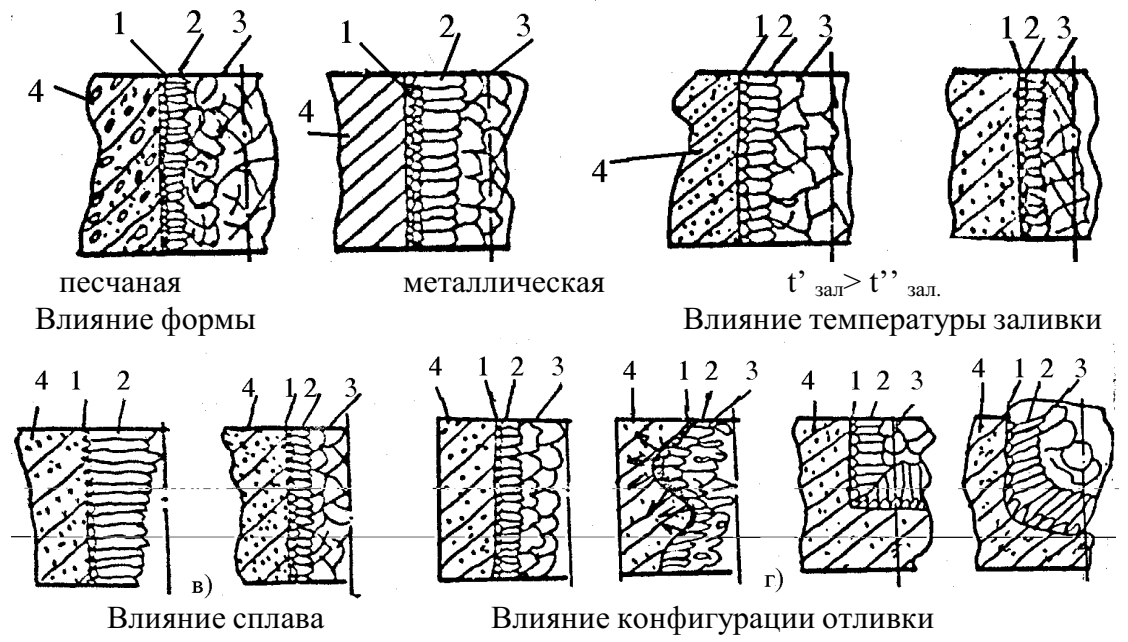


Рис.11 Влияние различных факторов на образование кристаллической структуры: 1- корка, 2- столбчатая зона, 3- крупная структура 4- форма.

Влияние температуры заливки. При более низкой температуре заливки (рис. 11) справа столбчатая зона 2 оказывается менее выраженной, так как в этом случае равноосные кристаллы раньше прекращают рост, чем столбчатые, из-за относительно менее интенсивного теплового потока.

Влияние сплава. На рис. 11 сопоставляются сплав с большей склонностью к образованию зоны столбчатых кристаллов (слева) со сплавом с незначительной склонностью к образованию столбчатой зоны. Отливки из первого сплава имеют насквозь столбчатую зону 2. Большой склонностью к образованию

столбчатой зоны отличаются сплавы, затвердевающие в узком интервале и обладающие низкой теплопроводностью.

Влияние конфигурации отливки. Конфигурация отливки также имеет определенное значение на кристаллизацию, потому что от нее зависит интенсивность теплового потока в разных частях отливки.

В равнотемперной отливке столбчатые кристаллы образуются по схеме рис. 11 слева при равномерном тепловом потоке (показан стрелками). В отливке же с выступами тепловой поток неравномерен. На впадинах формы тепловой поток рассеивается и образуются «холодные» места формы. На выступах формы поток как бы фокусируется, образуя «горячие места формы» (рис. 11, справа). В холодных местах образуются более крупные столбики с мелким внутренним строением, а в углублениях, где слабее тепловой поток, - меньшие столбики. Столбчатые кристаллы, как правило, образуются везде в направлении наибольшего теплового потока. Поэтому в острых наружных кромках и углах отливки, особенно в случае расплавов со склонностью к столбчатой кристаллизации, часто образуются непрочные соединения в местах встречи концов столбиков (рис. 11, слева). Этот недостаток можно устранить путем соответствующего закругления кромок и углов (рис. 11, справа).

5. Явления, сопровождающие затвердевание отливки

Характер затвердевания отливок. По мере протекания процесса затвердевания увеличивается количество твердой и уменьшается количество жидкой фаз. Поверхность контакта твердой фазы с жидкой может быть ровной (рис.12,а). Это характерный признак последовательного, послойного или постепенного затвердевания. Плоскость контакта твердой и жидкой фаз называется плоскостью кристаллизации или плоскостью затвердевания. Если поверхность контакта расплава и твердой фазы имеет весьма сложную конфигурацию, обе фазы находятся в соприкосновении друг с другом определенной ширины (рис. 12, б). Этот интервал называется двухфазной зоной. Если ширина двухфазной зоны так велика, что она существует определенное время по всей ширине отливки, пока начнется затвердевание от поверхности, то это явление называют объемным затвердеванием (рис. 12, в). В затвердевающей отливке различают, таким образом, три фазы: 1) затвердевший сплав; 2) затвердевающий сплав; 3) жидкий расплав. Во время затвердевания внутри отливки происходит ряд нежелательных процессов, которые могут вызвать: 1) образование усадочных полостей, так называемых усадочных раковин (этот процесс называют усадкой); 2) выделение газов из затвердевающей отливки, обуславливающее возникновение газовых раковин; 3) образование ликватов в двухфазной зоне.

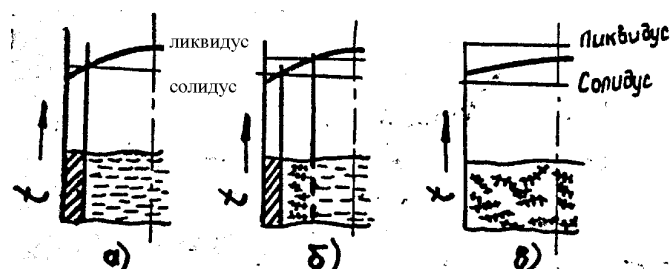


Рис.12 Характер затвердевания сплава: а) последовательное, б)-двухфазное, в)-объемное.

Усадка является важнейшим литейным свойством металлов. Как известно, при нагревании тела расширяются, а при охлаждении сжимаются, дают усадку. При охлаждении отливки начального объема V_0 или начальной длины l_0 с температуры t_0 до t изменение объема и длины тела определяется по формулам:

$$\sigma V = \alpha_v(t - t_0) \qquad \sigma L = \alpha_l(t - t_0)$$

Коэффициентами α_v и α_l при охлаждении являются истинными коэффициентами объемного α_v и линейного сжатия α_l , то есть коэффициентами соответствующей усадки при понижении температуры на 1° в интервале $t - t_0$. В практике под величиной усадки K принимаются относительные величины, выражающиеся изменение объема или длины при охлаждении в процентах:

$$K = (L - L_0) / L_0 * 100\%$$

L и L_0 - длины отливки при температурах t и t_0 соответственно. Необходимо различать три вида усадки: 1) Усадка жидкого металла, происходящая при охлаждении от температуры заливки до температуры ликвидуса (усадка жидкой фазы); 2) Усадка при затвердевании, когда отливка охлаждается от ликвидуса до солидуса (усадка при изменении агрегатного состояния); 3) Усадка твердого металла, образующая при охлаждении твердого металла от солидуса при комнатной температуре (усадка затвердевающего сплава). Каждый из этих видов усадки является определяющим в образовании тех или иных пороков в отливке.

Образование усадочной раковины в отливке. Усадочные раковины в отливках – это полости, возникающие вследствие усадки при затвердевании. Схема образования раковин показана на рис. 13, где представлены четыре стадии затвердевания в различные моменты времени. На стадии а) полость формы заполнена расплавом, имеющим температуру ликвидуса, поэтому в следующее мгновение начнется затвердевание сплава на поверхности формы. На стадии б) уже образовалась затвердевшая корка, получается своего рода закрытый сосуд, внутри которого расположен расплав. По мере охлаждения происходит усадка расплава (1-й вид усадки) и затвердевшей корки (3-й вид усадки), а также имеет место уменьшение объема при изменении агрегатного состояния (2-й вид усадки). Усадка расплава и уменьшение объема при переходе из жидкого состояния в твердое превышают усадку корки. Поэтому в определенный момент времени сплав под действием сил тяжести опускается (стадия в). Над расплавом остается полость – закрытая усадочная раковина (стадия г). В образовавшейся раковине в отливках из дегазированных сплавов создается разрежение, вследствие чего верхняя тонкая корка может прогнуться внутрь раковины, как это показано на рис. 13 г и д. Чтобы не допустить в отливке образования усадочной раковины, надо к отливке присоединить резервуар-прибыль (стадия д), из которой под действием силы тяжести расплав переместится в затвердевающую отливку. Усадочная раковина в этом случае образуется только в прибыли, которую отделяют от отливки после затвердевания.

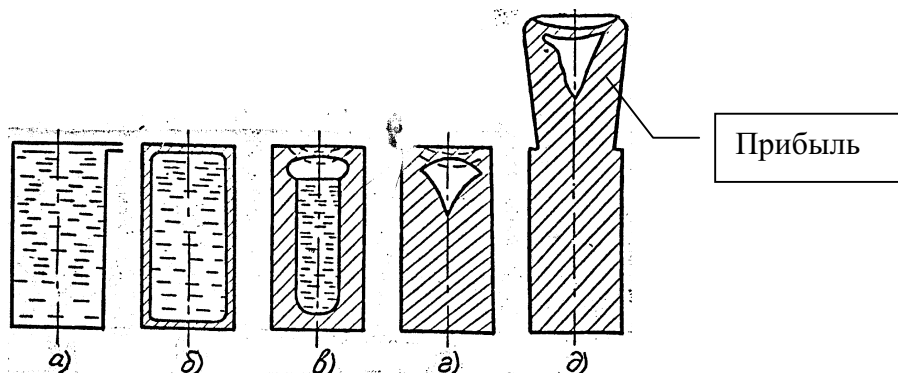


Рис.13 Образование усадочной раковины в отливке (а-д стадии процесса затвердевания).

Образование рассеянных усадочных раковин (усадочной пористости). При двухфазном затвердевании внутри двухфазной зоны образуются внутридендритные и междендритные поры. Питания нарастающего твердого слоя происходит без особого торможения до тех, пор пока зарождающиеся в объеме жидкого расплава твердые кристаллы составят сплошной скелет. Теперь уже жидкий расплав, поступающий сверху для питания ниже лежащих слоев, встречает сопротивление скелета из твердых кристаллов. Это сопротивление будет увеличиваться по мере уменьшения ячеек указанного скелета. Естественно, при прекращении питания той или иной ячейки скелета образуется межкристаллическая усадочная раковина. Эта раковина будет тем меньше, чем позже прекращается связь затвердевающего жидкого расплава ячейки с источником питания. Так образуются усадочные раковины в ячейках из дендритов, образующие микроскопическую рассеянную пористость. Рассеянные поры нарушают сплошность сечения отливки, а также могут действовать, как надрезы, ухудшая ее механические свойства.

Понятие об одновременном и направленном затвердеваниях. Усадочные раковины и пористость – это распространенный и трудноисправимый брак отливок. Только совместными усилиями конструктора детали и технолога-литейщика можно уменьшить или совсем устранить этот дефект. К сожалению, рассеянную пористость устранить без остатка не удастся, ее можно лишь уменьшить различными способами, помня, что:

1. Рассеянная пористость бывает тем больше, чем шире двухфазная зона у затвердевающего сплава. Поэтому все средства уменьшения двухфазной зоны одновременно приводят к ограничению рассеянной пористости;
2. Чем выше давление, под которым расплав перемещается через двухфазную зону к затвердевающим местам, тем меньше рассеянная пористость.

Для получения отливки без сконцентрированных в одном месте усадочных раковин необходимо, чтобы она затвердевала по одному из принципов: 1) одновременного затвердевания; 2) направленного затвердевания.

Одновременное затвердевание – одновременная и равномерная кристаллизация расплава во всех частях отливки. Одновременное затвердевание обеспечивается определенными условиями. Условия эти можно считать приблизительно выполненными, когда толщина стенок во всех частях отливки приблизительно одинакова, температура и теплопроводность формы во всех ее точках не изменяются или изменяются равномерно и одновременно. Следует заметить,

что одновременное затвердевание металла по всей отливке не может быть полностью осуществлено; в действительности кристаллизация протекает постепенно, от поверхности к оси стенки отливки. Поэтому, чем меньше толщина стенки отливки, тем лучше реализуется принцип одновременного затвердевания. И не случайно, что одновременное затвердевание находит применение для тонкостенных отливок таких, как корпуса фотоаппаратов, кинокамер биноклей, труб и других деталей. Однако усадка существует и в тонкостенных отливках. Ее действие проявляется в том, что вблизи геометрической оси стенки отливки располагается усадочная пористость. Опыты показали, что усадочная пористость, если она находится вблизи стенки отливки, опасна только тогда, когда отливка подвергается воздействию наружного или внутреннего давления, переменным нагрузкам, воздействию высоких температур. В сечениях, же подвергающихся изгибу, из-за небольших напряжений в волокнах, находящихся около нейтральной оси, внутренняя пористость вызывает лишь незначительные ослабления сечения.

При направленном затвердевании кристаллизация отливки происходит последовательно в направлении от наиболее удаленных ее частей к источнику питания жидким сплавом, например, к прибыли. Сущность направленного затвердевания рассмотрим на примере формирования плоской вертикально расположенной в форме плиты с прибылью. Металл в форму подводится под прибыль. При этом в момент окончания заливки наиболее холодный металл будет в нижней части формы, а наиболее горячий - в прибыли. Это происходит потому, что при подводе сплава под прибыль первые его порции попадают в нижнюю часть отливки, где сразу же начинают охлаждаться, соприкасаясь с холодной формой. Прибыль же будет заполнена последними порциями сплава, температура которого приблизительно равна температуре заливки. Распределение температур по оси отливки по всей ее длине к моменту окончания заполнения характеризует кривая 1. В соответствии с этим распределением затвердевание отливки от боковых стенок начнется раньше в нижней и позже в верхней части. Кривые 2, 3 и 4 соответствуют II-у, III-у и IV-у этапам затвердевания, которое идет вверх, то есть в направлении к прибыли (рис. 14). Такое затвердевание и называют направленным. При направленном затвердевании отливка получается плотной, без концентрированных раковин, которые вводятся в прибыль.

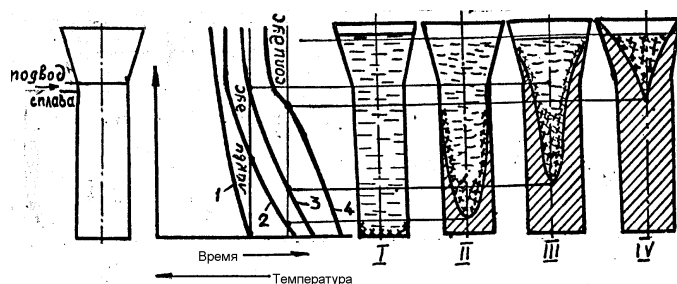


Рис. 14 Схема направленного затвердевания отливки типа плиты (I-IV – этапы затвердевания, 1-4 соответствующие им кривые распределения температуры по длине отливки).

Эффективный радиус действия прибыли зависит от ее расположения и конфигурации отливки. Например, радиус действия прибыли, установленной на

горизонтальной площадке меньше, чем на вертикальной. Поэтому, особенно для сплавов склонных к усадке, необходимо обеспечить выгодное сочетание температурного и силовых полей. Для этого отливку заливают в наклонном положении, причем часть отливки, на которой расположена прибыль, находится внизу. Этим создается значительная разница температур в удаленных и прилегающих к прибыли частях, то есть создается выгодное температурное поле. После заливки форму поворачивают, так, чтобы прилегающая прибыль была на самом верху, чем достигается дополнительное давление, то есть выгодное силовое поле. (См. рис. 15).

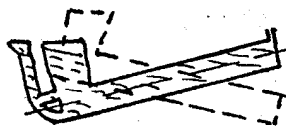


Рис.15. Схематическое изображение поворотов формы до и после заливки.

По конфигурации отливки бывают с плавно изменяющейся толщиной стенки и с резко изменяющейся толщиной стенки. Примеры первых отливок приведены на рис. 17. В наиболее широкое место каждой из них можно вписать только один шар наибольшего диаметра. Эти участки называют термическими узлами; они дольше остаются горячими и дольше затвердевают. Стенки с термическими узлами характеризуются приведенной толщиной – отношением D_{max} / D_{min} . Термические узлы в горизонтальной и вертикальной (б) отливках могут питаться помещенными на них прибылями. Термический узел (рис. 16) удален от прибыли. Отливка между прибылью и удаленным от нее узлом затвердевает раньше, чем узел. Затвердевание будет отрицательно направленным, поэтому в таких отливках образуются усадочные раковины.

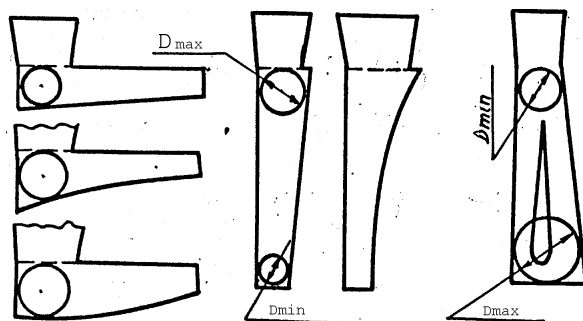


Рис. 17 Отливки с плавно изменяющейся толщиной стенки.

Отливки с резко изменяющейся толщиной стенки характеризуются тем же отношением D_{max} / D_{min} . Питание от прибыли толстой части зависит от подвода жидкого металла и расположения прибыли. На рис. 18 а, в прибыль прилегающая и поэтому наиболее эффективна, на рис. 18 б – полуприлегающая. На рис. 18 г узел находится в таком положении, что его нельзя питать из прибыли и в нем создается местное отрицательно направленное затвердевание.

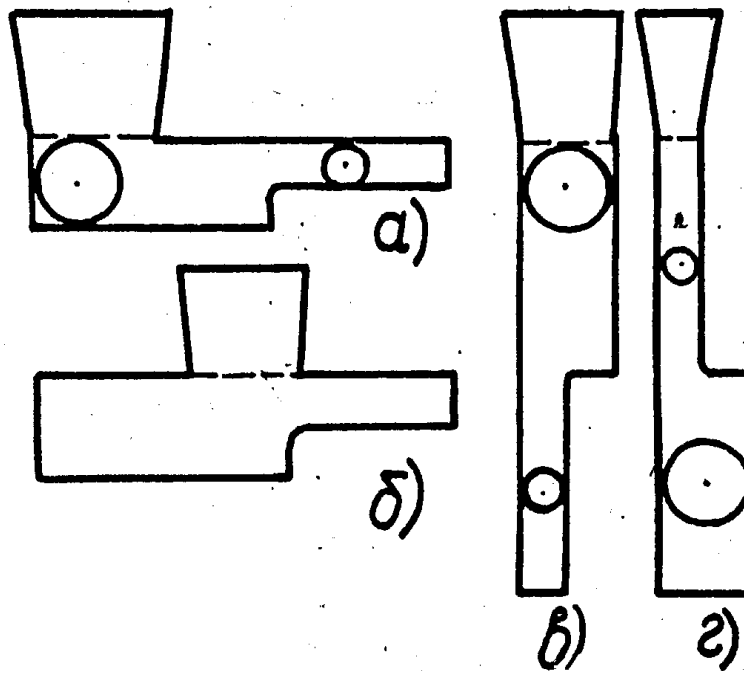


Рис. 18. Отливки с резко изменяющейся толщиной стенки.

При изготовлении сложных отливок с несколькими тепловыми узлами одна прибыль (рис. 19) не устраняет усадочную раковину, а две увеличивают расход металла. Если термический узел непроточной то есть при заливке сплав практически через него не протекает, и если он в то же время удален от прибыли, то есть не питается, то его можно обезвредить, захолаживая отливку снаружи холодильником из хорошо проводящего тепло материала. В этом случае узел затвердевает раньше, чем питающая стенка и он называется переохлажденным узлом. При этом не имеет смысла увеличивать толщину холодильника свыше $2/3$ толщины охлаждаемого узла. Толщина затвердевающего слоя во времени увеличивается по параболе, в связи с чем и действие холодильника по направлению внутрь ослабевает тем более, чем больше захолаживаемый узел. При одинаковой приведенной толщине малый узел можно переохладить извне, тогда как большой - невозможно даже при массивном холодильнике.

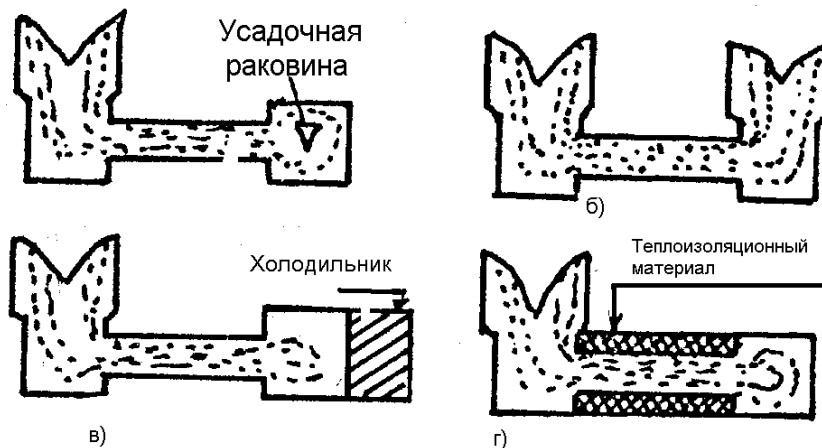


Рис. 19. Питание отливки с изолированным термическим узлом.

Большой непроточный узел, не имеющий под собой прибыли, нельзя переохладить извне. Однако его можно обезвредить установкой внутреннего холодильника (рис. 20), изготавливаемого из материала отливки или из другого материала.

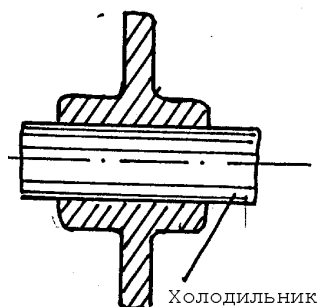


Рис. 20. Захлаживание термического узла внутренним холодильником.

Если прибыль не питает узел и в то же время он проточной, его не удастся обезвредить ни наружным, ни внутренним захлаживанием. Остается только изменить технологический процесс или конструкцию отливки делением ее на части по линии А-А (рис. 21) или технологическим припуском.

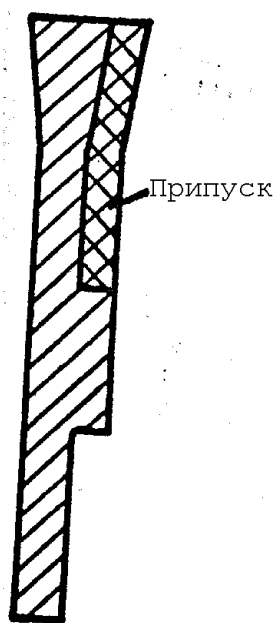


Рис. 21. Местный проточный термический узел.

Сложная отливка содержит несколько узлов. Так, например, отливка на рис. 22 имеет три кольцевых узла М, N, O. Питание подведено в узел O, на котором еще есть ряд угловых узлов в местах сопряжения ребер 2. Узел М прилегает к прибыли и удален от подвода питания. Рассмотрим узлы по возможности их обезвреживания. Узел O не питается прибылью и так как он проточной его нельзя захладить. Узел одновременно и проточной и сквозной, его нельзя надежно обезвредить захлаживанием. Узел М питается прибылью. Так как узлы O и N остаются без питания, то необходимо при данном подводе питания скорректировать сечение отливки. Вписывают в узел O наибольший шар и катят его по внутреннему контуру отливки до узла N. При этом придется

несколько расширить сечение (указано штриховкой). Наибольший шар, вписанный теперь в узел N нужно теперь катить до узла M. Стенка между узлами N и M увеличивается (показано штриховкой). Это решение требует больших литейных припусков. Чтобы не увеличивать чрезмерно расход сплава достаточно усилить стенки только в местах расположения ребер.

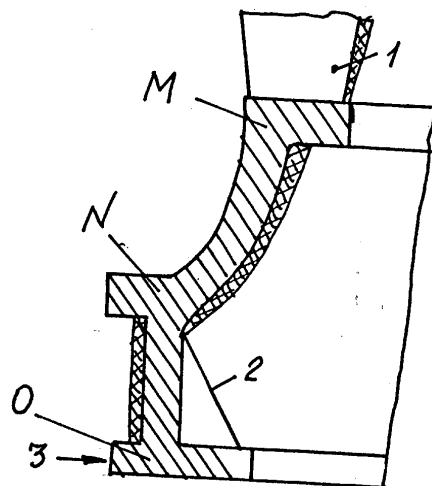


Рис. 22. Обезвреживание термических узлов у сложной отливки.

6. Газы

В металлах и сплавах газообразные элементы могут присутствовать в следующих видах:

1. газовых включений (раковин и сферических пузырей);
2. твердых химических соединений с элементами, входящими в состав сплава (окислов, гидридов и т.д.)
3. Жидких и твердых растворов, в этом случае атомы газообразных элементов могут располагаться между атомами основного металла или внедриться в его кристаллическую решетку;
4. тонких слоев адсорбированных на поверхности металла или сплава, например адсорбция может происходить на поверхности графитовых включений, расположенных в толще металлической матрицы.

Растворимость газов в металлах и сплавах в значительной степени не зависит от вида и свойства газа, природы растворителя, температуры и давления. Из свойств газов на его растворимость большое влияние оказывает молекулярное и атомное строение. В обычных жидкостях повышение температуры уменьшает растворимость газов. В жидких металлах и сплавах растворимость газов с повышением температуры может увеличиваться.

Процесс растворения газов в металлах и сплавах начинается с адсорбции, которая обычно вызывает понижение поверхностного натяжения на границе раздела жидкость-газ.

Поверхностная физическая адсорбция является первоначальной стадией сорбционных процессов для большинства случаев взаимодействия жидкость-газ.

С повышением температуры сплава получает развитие процесс активизированной адсорбции, являющейся предварительной стадией диффузии

газов в металл. Этот вид адсорбции, характерный для большинства систем металл-газ, отличается от обычной увеличением количества адсорбированного газа на поверхности адсорбента с повышением температуры.

Теплота активизированной адсорбции значительно превышает соответствующие величины физической адсорбции и приближается к величинам теплоты химических реакций. В процессе активированной адсорбции молекулы адсорбируемого газа на поверхности адсорбента диссоциируют и могут вступать с ним в химическое взаимодействие. Большое развитие получают процессы активированной адсорбции в системах металл-водород.

Газы, адсорбируемые поверхностью металла, в атомарном состоянии – диффундируют в металл. Процесс диффузии регулируется температурой, давлением и адсорбцией, величина которой, в свою очередь, зависит от состояния поверхности и структуры металла- адсорбента. Чем больше активная поверхность адсорбента, тем большим будет и количество диффундируемого газа.

Получение отливок без газовых раковин и пористости является одной из самых трудных задач литейного производства. Поэтому важно знать особенности не только растворения газов в металле, но и обратного процесса - их удаления.

Меры, обеспечивающие минимальное содержание газов и предупреждение образования газовых раковин и пористости в отливках, можно разделить на три группы:

1. дегазация исходных шихтовых материалов;
2. дегазация жидкого металла перед заливкой в форму;
3. предупреждение выделения газов из раствора в процессе кристаллизации металла в форме.

Так как первые два метода характерны для всех способов литья и не зависят от конструктора детали, то остановимся только на последнем мероприятии. К ним относятся: кристаллизация под давлением и литье под давлением с подпрессовкой.

Метод кристаллизации под давлением основан на том, что при повышенном давлении (4-5 атм.), создаваемом над кристаллизующимся в форме сплавом, в растворенном состоянии в металле может остаться больше газов, чем при атмосферном давлении. Поэтому над формами после заливки в автоклаве создают повышенное давление, поддерживаемое до окончания затвердевания.

Аналогично по воздействию на затвердевающий металл и давление подпрессовки при литье под давлением. Подобно высокому давлению при кристаллизации действует ускоренное охлаждение. Задержать газовыделение из раствора до перехода в твердое состояние и предупредить образование газовых раковин в отливках может и повышенная скорость охлаждения. Кроме того, повышенная скорость охлаждения является благоприятной еще и потому, что обеспечивает большой температурный градиент по сечению отливки в период кристаллизации. Это уменьшает слой, в котором протекает кристаллизация в данный момент. Поэтому газы, успевшие выделиться из раствора, могут легче и быстрее удалиться через еще жидкий сплав.

7. Неметаллические включения

В затвердевшем сплаве (окислы, нитриды и др.) являются телами, нарушающими сплошность и единообразие его структуры. Твердые неметаллические включения часто имеют острые углы и края, в которых образуются значительные концентрации напряжений. Тугоплавкие для данного сплава включения, температура плавления которых превышает температуру плавления данного сплава, обычно располагается внутри кристаллов. Легкоплавкие включения входят в электрические «сетки» и располагаются по границам зерен, часто вызывая хрупкость или красноломкость. Неметаллические включения могут неблагоприятно сказаться и на процессах вторичной кристаллизации.

Некоторые включения могут понижать химическую стойкость сплавов, так как они образуют с основным металлом сплава коррозионные гальванические пары, способствующие развитию электрохимических процессов коррозии.

8. Ликвация

В процессе затвердевания реальной отливки содержащаяся внутри отливки жидкость находится в непрерывном движении. В центральной зоне отливки происходит конвективное перемещение сплава. Кроме того внутри переходной зоны жидкость циркулирует между растущими кристаллами. Однако в большинстве отливок наблюдается химическая неоднородность сплава в виде зональной ликвации отдельных элементов. Обычно, ликвируют элементы, растворимость которых в первоначально образующихся твердых кристаллах относительно мала. Например, медь неравномерно распределяется по сечению отливки из алюминиево-медного сплава. При выделении кристаллов с пониженным содержанием ликвирующего элемента, этот элемент скапливается в жидкости, окружающей кристалл. Возникает значительная разница в концентрации элемента внутри жидкости переходной и в составе маточного раствора в центре отливки. Под действием градиента концентрации в жидком сплаве происходит диффузия элемента к центру отливки, что вызывает развитие зональной ликвации.

Характер ликвации зависит от скорости охлаждения отливки. Очевидно, что большая скорость охлаждения приводит к получению отливки с лучшими механическими свойствами. Поэтому конструктор должен помнить, что при использовании для изготовления изделия сплава склонного к ликвации, при выборе способа литья следует отдавать предпочтение процессу с быстрым охлаждением. Например, при литье под давлением ясно выраженная зональная ликвация не успевает развиваться. Дендритная же ликвация не оказывает существенного влияния на качество отливок.

9. Напряжения в отливках и их последствия

Каждой температуре соответствует вполне определенный удельный объем данного сплава во всех агрегатных состояниях. С изменением температуры изменяется удельный объем сплава- сплав претерпевает расширение или сужение. Свободное расширение сплава всегда отличается от

расширения этого сплава в отливке, потому что при расширении (сжатии) отливки всегда возникает торможение, препятствующее расширению (сжатию).

Встречаются три основных механизма торможения: механическое торможение усадки (рис.23, а), тепловое торможение усадки (рис. 23, б) и комбинированное торможение усадки (рис. 23, в) при этом в отливке возникают напряжения. Когда численные значения напряжений превысят предел прочности материала отливки, то она разрушается. Нарушение сплошности материала отливки, возникающее при высоких температурах, называются горячими трещинами, а при комнатной или несколько более высокой температурах холодными трещинами. Часто отливки не разрушаются, но в них остаются внутренние напряжения, которые изменяются в процессе хранения, эксплуатации, что приводит к короблению отливок и изменению их размеров. Особенно заметно изменение размеров после механической обработки отливок.

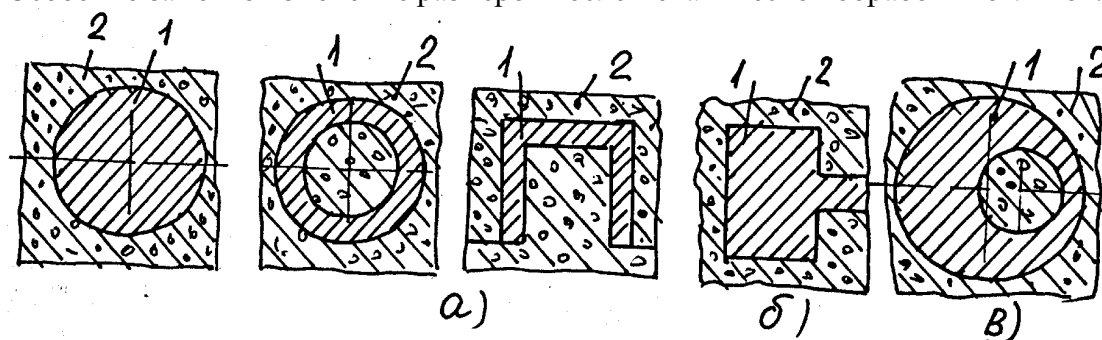


Рис. 23. Схема торможения усадки: а)- механическое; б) тепловое; в) комбинированное. 1- отливка 2- форма.

Глава 4 Литейные сплавы и их характеристики

1. Чугуны

Чугун – это многокомпонентный сплав железа с углеродом (2-4 %) и другими элементами.

Структура и свойства чугунов различны. Если весь углерод сплава кристаллизуется в виде графита, а металлическая основа в виде феррита, то это серый ферритовый чугун. Если же весь углерод кристаллизуется в составе цементита Fe_3C , то это белый чугун. В половинчатом чугуне наряду с графитом находится структурно свободный цементит.

На характер кристаллизации чугуна влияет много факторов. К ним относится содержание элементов, постоянно препятствующих в чугуне (C, Si, Mn, S, P) легирующих элементов. Большое влияние оказывает скорость охлаждения чугуна, изменение которой в стенках разной толщины вызывает образование различных микроструктур в одной и той же отливке.

Структуры, получающиеся при кристаллизации чугуна в форме, можно существенно изменить последующей термической обработкой.

По сравнению со сталью в чугунах с одинаковой металлической основой меньше: а) предел прочности при растяжении, а также пределы упругости и пропорциональности; б) пластичность (относительное удлинение и ударная вязкость); в) модуль упругости.

В то же время чугун, в отличие от стали, обладает низкой чувствительностью к надрезам. Благодаря этому возникающие в чугунной отливке надрезы (раковины, поры, неметаллические включения, риски после механической обработки и так далее) в малой степени снижают ее конструктивную прочность. Подобные же надрезы в стальной отливке резко ухудшают ее свойства, особенно пластичность и усталостную прочность.

Благодаря этим преимуществам чугун в ряде случаев оказывается более надежным конструкционным материалом, чем сталь. Широкое распространение чугун получил благодаря хорошим технологическим свойствам (хорошая жидкотекучесть и обрабатываемость резанием) и относительной дешевизной по сравнению с другими литейными сплавами. Область применения чугуна все более расширяется вследствие непрерывного повышения его прочностных и технологических свойств, а также разработки чугунов новых марок со специальными физическими и химическими свойствами.

2. Стали

Сталью называются железоуглеродистые сплавы, содержащие до 20%С. Наряду с углеродом в сталях присутствуют Mn, Si, S, P, N, H, O и другие элементы, попавшие в них, в процессе изготовления. Такие элементы, как Cr, Ni, Mo, V, W, добавляют для придания стали особых физических, физико-химических свойств или повышения ее прочности. Стали с добавками этих элементов называются легированными.

В промышленности применяют три группы литейных сталей: конструкционные, инструментальные и со специальными свойствами.

Из конструкционных сталей изготавливают детали несущие механические нагрузки. По химическому составу их подразделяют на углеродистые (низко и средне-углеродистые) и легированные.

Из инструментальных сталей изготавливают литой инструмент (режущий, мерительный, штамповочный и так далее).

Из сталей со специальными свойствами (коррозионно-стойкие, жаропрочные, кислотоупорные, износостойкие) выполняют литые изделия, подвергающиеся воздействию различных сред высоких температур и нагрузок.

В приборостроении наиболее широкое применение нашли углеродистые стали.

Углеродистая сталь. В зависимости от содержания углерода сталь делят на низкоуглеродистую (до 0,20%С), среднеуглеродистую (от 0,20% до 0,45%С), высокоуглеродистую (более 0,45%С).

Углерод является основным элементом, определяющим механические свойства углеродистых сталей. Увеличение содержания углерода повышает прочность и снижает пластичность стали. В зависимости от содержания углерода (от 0,12 до 0,6%) сталь делят на девять марок (15Л, 20Л, 25Л, 30Л, 35Л, 40Л, 45Л, 50Л, 55Л). Марки стали обозначают цифрами, соответствующими среднему содержанию углерода (указываются сотые доли процента) и буквой Л (литая). Например, сталь, содержащую 0,35% С, обозначают 35Л.

Литейные свойства углеродистых сталей ниже чугунов. Например, жидкотекучесть в среднем в два раза меньше жидкотекучести чугунов. Усадка в два раза больше усадки чугунов.

Усадка стали в жидком состоянии и в период кристаллизации, вызывает образование усадочных раковин и пористости.

Получение плотных отливок обеспечивается правильной конструкцией отливки, установкой прибылей и созданием направленного затвердевания.

Усадка стали в твердом состоянии может вызвать образование горячих и холодных трещин, коробление отливок, высокие внутренние напряжения и изменение линейных размеров.

Стали, особенно, легированные, обладают плохими литейными свойствами.

3. Алюминиевые сплавы

Для изготовления отливок используют пять групп алюминиевых сплавов: 1) на основе системы алюминий-кремний, 2) алюминий-медь, 3) алюминий-магний, 4) системы алюминий-кремний-медь, 5) прочие сплавы.

Алюминиевые сплавы имеют высокую удельную прочность при нормальной температуре, хорошо противостоят коррозии в атмосферных условиях, обладают высокими литейными свойствами.

По ГОСТу алюминиевые сплавы обозначают: АЛ1, АЛ2, ...АЛ27 (числа – порядковый номер).

Наибольшее применение в промышленности получили сплавы первой и четвертой групп.

Сплавы системы алюминий-кремний (типичный представитель – сплав АЛ2) широк применяемый в промышленности. По содержанию кремния он близок к эвтектическому и поэтому обладает лучшими, чем другие сплавы литейными свойствами.

Двойные доэвтектические сплавы алюминия и кремния имеют невысокую прочность. Поэтому в состав их вводят магний, образующий с кремнием химическое соединение $MgSi$, упрочняющее сплав в процессе термической обработки, например сплав АЛ9.

Наиболее вредной примесью для силуминов является железо. Образую хрупкие тройные (Al-Fe-Si) и более сложные фазы, кристаллизующиеся в виде пластин, железо существенно снижает пластические свойства сплавов. Для нейтрализации вредного влияния железа в сплав вводят марганец. Десятые доли марганца способствуют переводу выделенной железистой составляющей в более благоприятную (компактную) форму, например сплав АЛ4, содержащий Al-Mg-Mn-Mg.

При литье в песчаные формы легирование силуминов магнием и марганцем не обеспечивает еще получение необходимых механических свойств из-за грубого выделения в эвтектике. Поэтому при литье в разовые, низкотеплопроводные формы сплавы системы алюминий- кремний, содержащие не менее 6%С Si, подвергают модифицированию. Для этой цели в расплав вводят 0,01- 0,1% Na. В присутствии натрия эвтектический кремний выделяется в виде тонких тонкодисперсных пластин, что благоприятно отражается пластических свойствах. Аналогичное влияние оказывают на структуру сплава присадки кальция и калия, окислов щелочных металлов, сурьма, висмут, литий, бор и так далее.

Сплавы на основе системы алюминий-медь (например сплав АЛ7) обладают низкой коррозионной стойкостью и недостаточной пластичностью. В

отличии от сплавов первой группы они хорошо обрабатываются резанием. В следствии широкого интервала кристаллизации сплавы этой группы склонны к образованию усадочных трещин и рассеянной усадочной пористости. Отличительной особенностью алюминиево-медных сплавов является их теплопрочность. Механические и эксплуатационные свойства сплавов улучшают присадками марганца и титана (сплав АЛ19) и термической обработкой (содержат Al-Cu-Mn-Ti).

Алюминиевые сплавы с медью и кремнием широко используют для изготовления деталей, обладающих достаточной твердостью и прочностью, сохраняющих постоянство в процессе эксплуатации и отвечающих требованиям по чистоте обработанной поверхности (корпусы различных приборов). Среди сплавов этой группы наиболее благоприятными свойствами обладает АЛ-4.

Сплавы системы алюминий-магний (типичный представитель сплав АЛ8) отличаются низкой плотностью и высокой коррозионной стойкостью и прочностью; их используют для изготовления отливок, испытывающих большие вибрационные нагрузки или подвергающиеся воздействию морской воды. Вводят добавки Mn и Si, например сплав АЛ13 содержит Al-Mg-Mn-Si.

Вследствие повышенной склонности к окислению, образованию усадочных трещин и рыхлот, взаимодействию с влагой формы, пониженной жидкотекучести, изготовление отливок магниевых сплавов в состав формовочных смесей вводят специальные присадки (борную кислоту, серу и пр.), предохраняющиеся расплав от загорания в форме.

В зависимости от состава сплава отливки проходят определенный режим термической обработки. Характерным является также пропитка пористых отливок различными лаками.

В последнее время разработаны новые высокопрочные литейные алюминиевые сплавы марок АЛ2М, АЛ4Д, АЛ11М.

Сплавы марок АЛ4Д и АЛ2М относятся по своему составу к системе алюминий-кремний-медь-магний.

Дополнительное легирование сплавов типа силумин медью и магнием позволило получить сплавы с высокой прочностью и высокой технологичностью при литье под давлением и в кокиль.

Сплав марки АЛ4Д разработан применительно для литья под давлением, поэтому для предотвращения возможности приваривания металла к форме в его состав введены наибольшие добавки марганца и хрома. Добавки титана в сплав измельчают структуру. Механические свойства образцов из сплава АЛ4Д, вырезанных из деталей, отлитых под давлением с применением вакуума следующие $\delta_b=33-38$ кгс/мм², $\delta=1,5-3\%$, что соответствует прочности углеродистой стали.

Комплексное легирование сплава АЛ2М добавками редких элементов: титаном, бериллием, цирконием, бором и применение исходных материалов высокой чистоты обеспечивает высокие механические свойства. Сплав был успешно опробован при литье деталей методом штамповки жидкого металла и при литье в кокиль.

Механические свойства на вырезанных образцах: $\delta_b=37$ кгс/мм², $\delta=3\%$.

Сплавы АЛ4Д и АЛ2М являются термически упрочняемыми, поэтому высокие механические свойства этих сплавов могут быть получены только после закалки и искусственного старения.

Сплав АЛ11М разработан на основе стандартного сплава АЛ11 системы алюминий-цинк-кремний. Этот сплав дополнительно легирован титаном, цирконием, бериллием, медью, магнием и бором.

Следует отметить, что в оптическом приборостроении наиболее широкое применение получил сплав АЛ2. Из этого сплава льются детали, изготавливаемые как литьем в землю, так и литьем под давлением. Применение этого сплава для литья под давлением не имеет убедительных оснований, так как основное его преимущество – высокая жидкотекучесть, теряется из-за специфики литья под давлением. Основные же недостатки – плохая обрабатываемость резанием, невысокие механические свойства, а особенно относительное удлинение. Не случайно, поэтому, в большинстве стран в качестве типовых сплавов для литья под давлением приняты сплавы типа: алюминий-кремний-медь, алюминий-магний.

Медь повышает предел прочности при растяжении, и что особенно важно в алюминиевых сплавах, повышает их твердость, жидкотекучесть, уменьшает склонность к образованию цветов побежалости, улучшая внешний вид отливки и их обрабатываемость.

4. Магниево-алюминиевые сплавы

Отливки из магниевых сплавов широко применяются главным образом там, где они позволяют снизить массу изделия. Магниево-алюминиевые сплавы в 4-4,5 раза легче стали, их плотность колеблется от 1,7 до 1,9 кг/см³. Область применения сплавов непрерывно расширяется, что обусловлено их относительно высокими механическими и эксплуатационными качествами, а также снижением стоимости. Последнее обстоятельство определяется постепенным снижением стоимости электроэнергии, являющейся основной статьей расхода при производстве металлического магния.

По ГОСТу магниевые сплавы обозначают: Мл1, Мл2, ... Мл27 (числа-порядковый номер).

По химическому составу литейные магниевые сплавы делят на следующие группы сплавов: 1 – системы магний-марганец (Мл2); 2 – магний-алюминий-цинк (Мл3, Мл4, Мл5, Мл6, Мл7-1); 3 – магний-цинк-цирконий (Мл12, ВМл-3); 4 – легированные редкоземельными металлами (Мл9, Мл10, Мл11); и 5 – содержащие торий (Мл14, ВМл1).

Для изготовления отливок чаще других используют сплавы второй группы. Лучшими литейными свойствами из них обладают Мл5 и Мл6. Эти сплавы предназначены для производства высоконагруженных отливок, работающих в тяжелых атмосферных условиях с высокой влажностью.

Сплав Мл3 используют при изготовлении отливок простой конфигурации с повышенной герметичностью для работы при средних статических и динамических нагрузках. В отличие от Мл5 и Мл6, сплав Мл3, обладающим небольшим интервалом кристаллизации и малой склонностью к образованию микропористости, имеет повышенную склонность к образованию трещин, а при затрудненной усадке и низкую жидкотекучесть. Самый широкий интервал кристаллизации из сплавов второй группы имеет Мл4. По этой причине отливки из этого сплава предрасположены к микропористости и горячеломкости. Сплав Мл4 обладает высокой коррозионной стойкостью. Все сплавы второй группы упрочняются термической обработкой.

5. Сплавы на медной основе

Различают две основные группы медных сплавов: латуни – сплавы меди с цинком и бронзы – сплавы меди с другими элементами за исключением цинка. Обозначаются сплавы начальной буквой (Л – латунь, Бр – бронза), после чего следуют буквы основных элементов, например, О – олово, Ц – цинк, Мц – марганец, Ж – железо, Ф – фосфор и так далее. Цифры, следующие за буквой, указывают количество легирующих элементов. Например, ЛЖМц-59-1-1 – латунь, содержащая 59% Cu, 1%Fe, 1%Mn и остальное цинк; или Бр0Ф6,5-0,15 – бронза, содержащая 6,5% Sn, 0,15% P и остальное медь.

Медные сплавы имеют сравнительно высокие механические и антифрикционные свойства, хорошо противостоят коррозии (в среде морской воды, пара и так далее), сохраняют высокую пластичность при низких температурах. Они не магнитны, легко полируются и обрабатываются резанием, имеют удовлетворительные литейные свойства.

6. Титан и его сплавы

Титан – металл серебристо-белого цвета, обладает низкой теплопроводностью (в 13 раз меньше, чем у алюминия), низким модулем нормальной упругости, высоким электросопротивлением и значительной анизотропией некоторых физических свойств.

Технический титан благодаря высокому сопротивлению коррозии, малой плотности $4,5 \text{ г/см}^3$ (сталь – 7 г/см^3), высокой прочности (предел прочности при растяжении 150 кгс/мм^2) является прекрасным материалом для приборостроения. Изделия из титановых сплавов хорошо работают при значительных отрицательных температурах, вплоть до температуры жидкого азота.

Титан легируется такими добавками, как Al, V, Mn, Cr, Nb, Sn, Fe, Zr. Титановые сплавы обозначаются буквами ВТ.

В настоящее время для литья применяют сплавы ВТ1, ВТ5, ВТ6, ВТ9.

Литье титановых сплавов вызывает большие технологические трудности, обусловленные активным взаимодействием жидкого расплава со всеми используемыми в настоящее время для изготовления литейных форм материалами. Титан при высоких температурах активно взаимодействует с азотом и кислородом. Реакция с азотом протекает также активно, как горение некоторых веществ в среде кислорода. Поэтому плавку титановых сплавов проводят только в вакуумных печах.

Глава 5 Характеристика основных способов литья, применяемых в приборостроении

1. Литье по ЖСС

Использование для заливки сырых форм не всегда позволяет получить отливки с требованиями соответствующими высокому качеству из-за низкой чистоты поверхности, повышенной толщины стенок и, следовательно, завышенного веса отливок. По этой причине приходится вводить обработку отливок даже по тем поверхностям, которые можно было бы оставлять в

деталей литыми. Применение ЖСС позволяет уменьшить толщину стенок отливок, повысить точность и чистоту поверхности. Ниже рассмотрены особенности процесса литья по ЖСС по сравнению с литьем в землю.

Исходные материалы для приготовления ЖСС. Формовочная смесь состоит из наполнителя и жидкой композиции. В качестве наполнителей применяют: мелкозернистые кварцевые пески (с содержанием глины не более 1% и влажностью не более 3%) и феррохромовый шлак следующего состава в %:

CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	MgO	Cr ₂ O ₃	FeO
48-53	26-30	6-8	6-12	2-5	0.2-0.5

В жидкую композицию входит жидкое стекло, поверхностно активные добавки и вода.

Жидкое стекло (Me_2O n SiO_2 m H_2O), где Me_2O может быть Na_2O или K_2O обычно применяют стекло «В» с модулем 2,61- 3,00.

В качестве поверхностного активного вещества применяется контакт Петрова (КП) - получается керосинового дистиллата нефти серным ангидридом.

Приготовление ЖСС. Для изготовления жидкой смеси используют специальные смесительные установки. Схема смесительной установки показана на рис. 24. Дозирование компонентов формовочной смеси осуществляется на весах, смонтированных в смесительную установку. Сначала в растворомешалку поступают сухие компоненты - песок и шлак, перемешиваются в течение 1,0-1,5 мин. Для достижения требуемой степени однородности. После этого в смеситель вводится жидкая композиция и производится перемешивание в течение 1,5- 2,0 мин. Цикл приготовления смеси длится 3- 6 мин., происходит пенообразование и смесь приобретает текучесть и способность легко проникать во все щели и углубления формы самотеком.

Модели и стержневые ящики изготавливаются из дерева и металла. При этом поверхности моделей и ящиков обрабатывают специальным покрытием, так как смесь ЖСС обладает повышенной прилипаемостью к материалу моделей и стержней. Сначала покрывают нитрошпаклевкой, затем зачищают наждачной бумагой и красят нитрокраской в два слоя. Выдержка после покраски – 3-4 часа на воздухе.

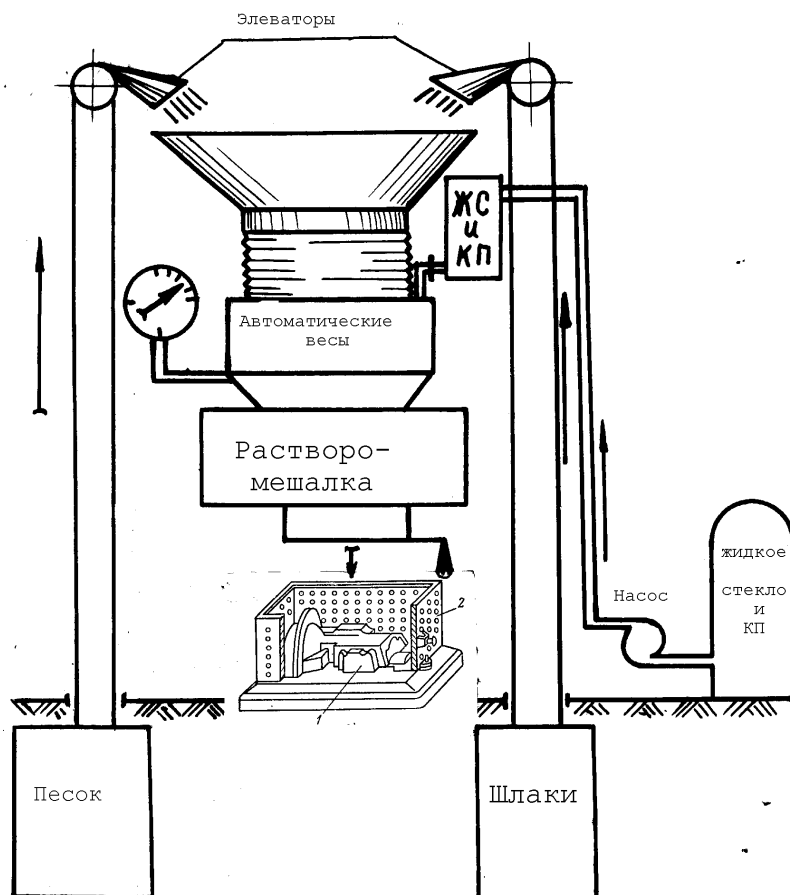


Рис. 24. Схема изготовления формы из ЖСС.

Изготовление форм и стержней. Модель с опокой подается под смесительное устройство. Предварительно поверхность модели и подмодельной плиты покрывают разделительным покрытием (смесь мазута, керосина и серебристого графита 2; 1; 0,5) или химически стойкий лак. Готовая смесь выпускается из смесителя на модель и стержневой ящик, растекается точно, выполняя конфигурацию отливки. Изготовление формы (заливка смесью) занимает несколько секунд. Наличие в составе смеси жидкого стекла способствует быстрому затвердеванию формы на воздухе. Так как извлечение модели производится из твердой фазы, то размеры полости не изменяются при извлечении модели, что позволяет повысить точность отливок.

Дальнейшие операции сборки и заливки формы делаются точно так же, как и при обычном литье в землю. Учитывая, что заливка осуществляется в сухую твердую форму, теплопроводность которой меньше чем сырой, появляется возможность уменьшить толщину стенок отливок.

Применение способа литья. Для изготовления больших корпусов приборов из чугуна и алюминиевых сплавов с толщиной стенки 4-6 мм. Точность отливок – 14-15 квалитет, шероховатость поверхности 80-40. Легко автоматизируется и механизуется.

2. Литье в оболочковые формы

Оболочковые формы, так же как и песчано-глинистые и ЖСС, являются разовыми. Форма представляет собой прочную тонкую оболочку (6-10 мм) с гладкой рабочей поверхностью и точными размерами полости.

Формовочную смесь готовят из мелкозернистого песка и синтетической терморезактивной смеси (3-7%), которая является связующим. Эти смеси являются песчано-смоляными. Способ изготовления оболочек обоснован на специфических свойствах терморезактивных смол.

Смолы при комнатной температуре находятся в твердом состоянии, при нагреве до 70-120°C размягчаются, становятся полужидкими, вязкими, клейкими. При дальнейшем нагреве до 200-250°C терморезактивные смолы необратимо твердеют, прочность их резко повышается и сохраняется после охлаждения до комнатной температуры.

Изготовление оболочковых форм. Модельную плиту 1, на которой закреплена модель 4 (модельную плиту и модель изготавливают из металла) (рис. 25, а), нагревают до 200-250°C и на ее рабочую поверхность пульверизатором или кистью наносят тонкую пленку разделительного состава, например силиконовой жидкости, чтобы предотвратить прилипание смеси к моделям.

На горловину поворотного бункера 2 со смесью 3 устанавливают горячую модельную плиту, после укрепления которой поворачивают бункер на 180°. Песчано-смоляная смесь падает на поверхность плиты и модели. Под действием тепла слой 5 смеси, прилегающий к модели и плите, прогревается за 15-25 с до температуры расплавления смолы на глубину 6-10 мм. В этом слое зерна песка оказываются склеенными расплавленной смолой. Остальную сыпучую часть смеси удаляют поворотом бункера на 180° в исходное положение. Оставшуюся полутвердую оболочку вместе с подмодельной плитой помещают в печь, где она необратимо затвердевает при температуре при нагревании ее в течение 50-60 с при температуре 300-350°C. После извлечения из печи прочную оболочковую полуформу 5 снимают с модельной плиты при помощи выталкивателей 6. Также изготавливают вторую оболочковую полуформу.

Процесс изготовления оболочковых стержней аналогичен процессу изготовления полуформ. В подогретый и смазанный стержневой ящик 7 (рис.25 б) насыпают песчано-смоляную смесь 8, через 15-20 с после образования оболочки высыпают непрогретую оставшуюся сыпучую смесь. Оболочка твердеет при дальнейшем нагреве ящика. Затем ящик раскрывают и извлекают стержень 9.

Модели, плиты и стержневые ящики в основном изготавливаются из чугуна, реже из стали и алюминиевых сплавов.

Оболочковые полуформы собирают, склеивая быстротвердеющим терморезактивным клеем. В охлажденную полуформу устанавливают стержень на ее края наносят клей толщиной 0,1 мм, накладывают вторую горячую (120-150°C) полуформу, прижимают ее к первой специальным приспособлением и выдерживают 5-10 с для отверждения клея. Для центрирования полуформ в одной из них делают углубления, в другой – выступы 9.

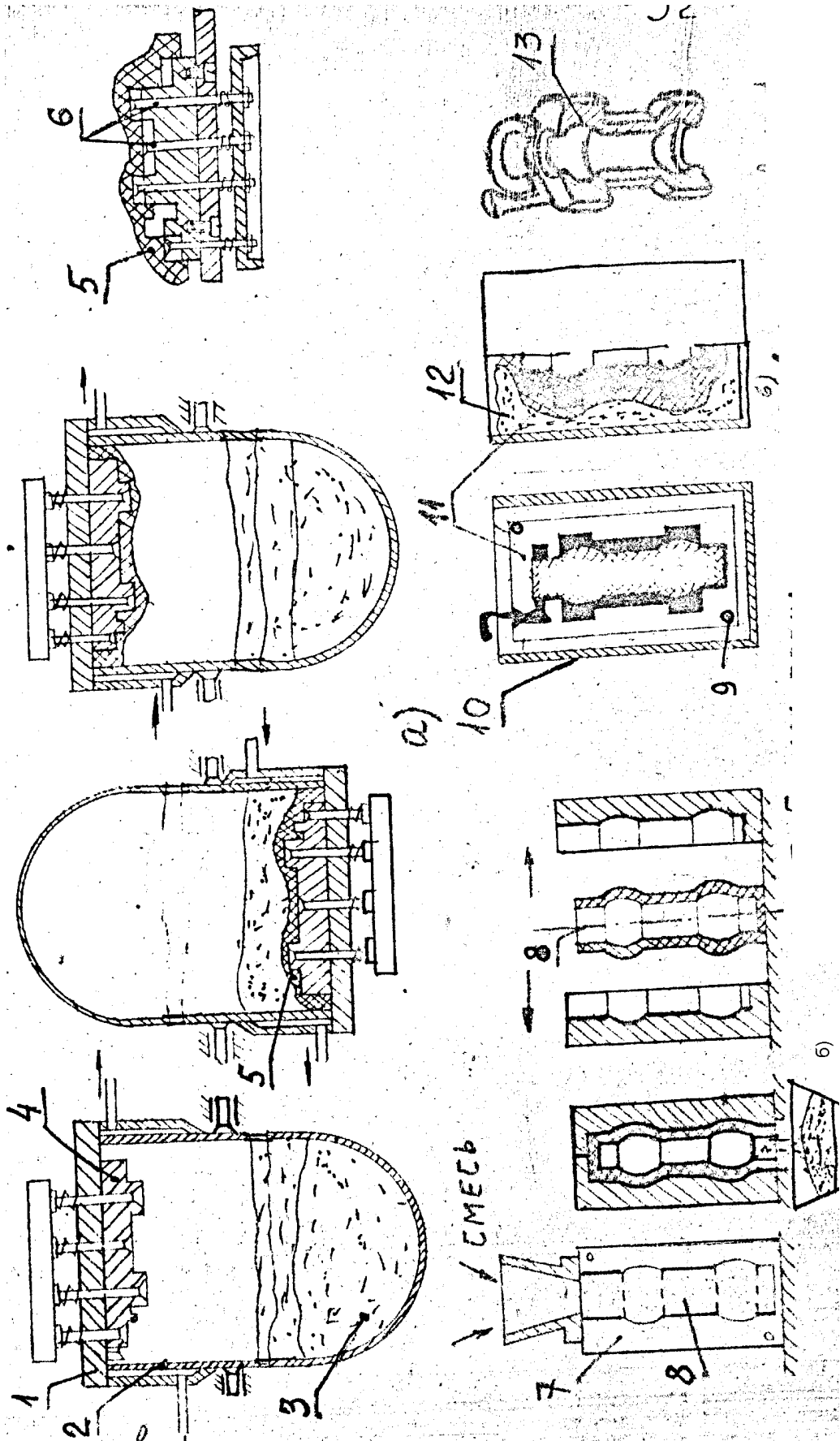


Рис.25. Схема литья в оболочковую форму.

Готовые (склеенные) оболочковые формы 11 (рис. 25 в) устанавливают в металлические ящики 10, засыпают песком или чугуной дробью 12, заливают жидким металлом и получают отливку 13 после разрушения оболочки.

Особенности способа и области его применения. Применение мелкозернистых песков в смесях способствует получению гладкой рабочей поверхности оболочковых форм и стержней.

Твердение смеси непосредственно на модели или в стержневом ящике позволяет получать точные по размерам формы и стержни.

Оболочки обладают достаточной прочностью, жесткостью и газпроницаемостью в период заливки и затвердевания сплава. Вместе с тем по мере прогрева отливки теплом оболочка разрушается: прочность ее падает, она превращается в песок, что способствует свободной усадке отливок.

Отмеченные возможности дают возможность изготавливать сложные тонкостенные отливки из черных и алюминиевых сплавов массой до 100 кг. Точность отливок находится в пределах 11-14 квалитетов (11 квалитет) на отдельные размеры, не связанные с плоскостью разъема, а шероховатость поверхности соответствует 25мкм.

В оптико-механической промышленности этим способом изготавливают корпуса аэрофотоаппаратуры проекторов, лабораторных приборов.

Оболочковые стержни применяют не только в оболочковых формах, но и в песчаных, а также в кокилях для выполнения сложных полостей в алюминиевых и магниевых отливках.

Расход формовочной смеси при литье в оболочковые формы в 8-10 раз меньше, чем при литье в земляные формы.

Процесс изготовления оболочек хорошо поддается автоматизации.

3. Литье по выплавляемым моделям

Литейная форма представляет собой неразъемную тонкостенную прочную оболочку, негаснущую, высокоогнеупорную, с гладкой рабочей поверхностью. Оболочку изготавливают из мелкозернистых формовочных материалов по разовым (выплавляемым или растворяемым) моделям. Разовые модели 3 (рис. 26 а) отливки 1 изготавливают в прессформах 2 путем заливки или запрессовки шприцем беззольных, легкоплавких или легко растворимых модельных составов, например ПС50-50 (50% парафина, 50% стеарина). Прессформы выполняют одноместными или многоместными. Модели, полученные в одноместных формах, припаивают паяльником 5 к модели 4 литниковой системы, изготавливаемого из того же модельного состава в прессформе.

В многоместных формах получают звенья моделей. При сборке звенья моделей насаживают на металлический каркас-стояк, последнее звено прижимают навинчиванием колпачка (из того же модельного состава) на каркас-стояк. Соединенные в одно целое модели отливок и модели литниковой системы называют блоками моделей. Затем на поверхность блока моделей наносят (формируют оболочку) слой огнеупорной смеси (рис. 26 б). В отличие от песчано-глинистой смеси, смесь, используемая при литье по выплавляемым моделям, представляет собой жидкую суспензию, состоящую из пылевидного огнеупорного материала, например пылевидного кварца циркона, корунда и

связующего коллоидного раствора двуоксида кремния. Связующий раствор изготавливают путем гидролиза этилсиликата.

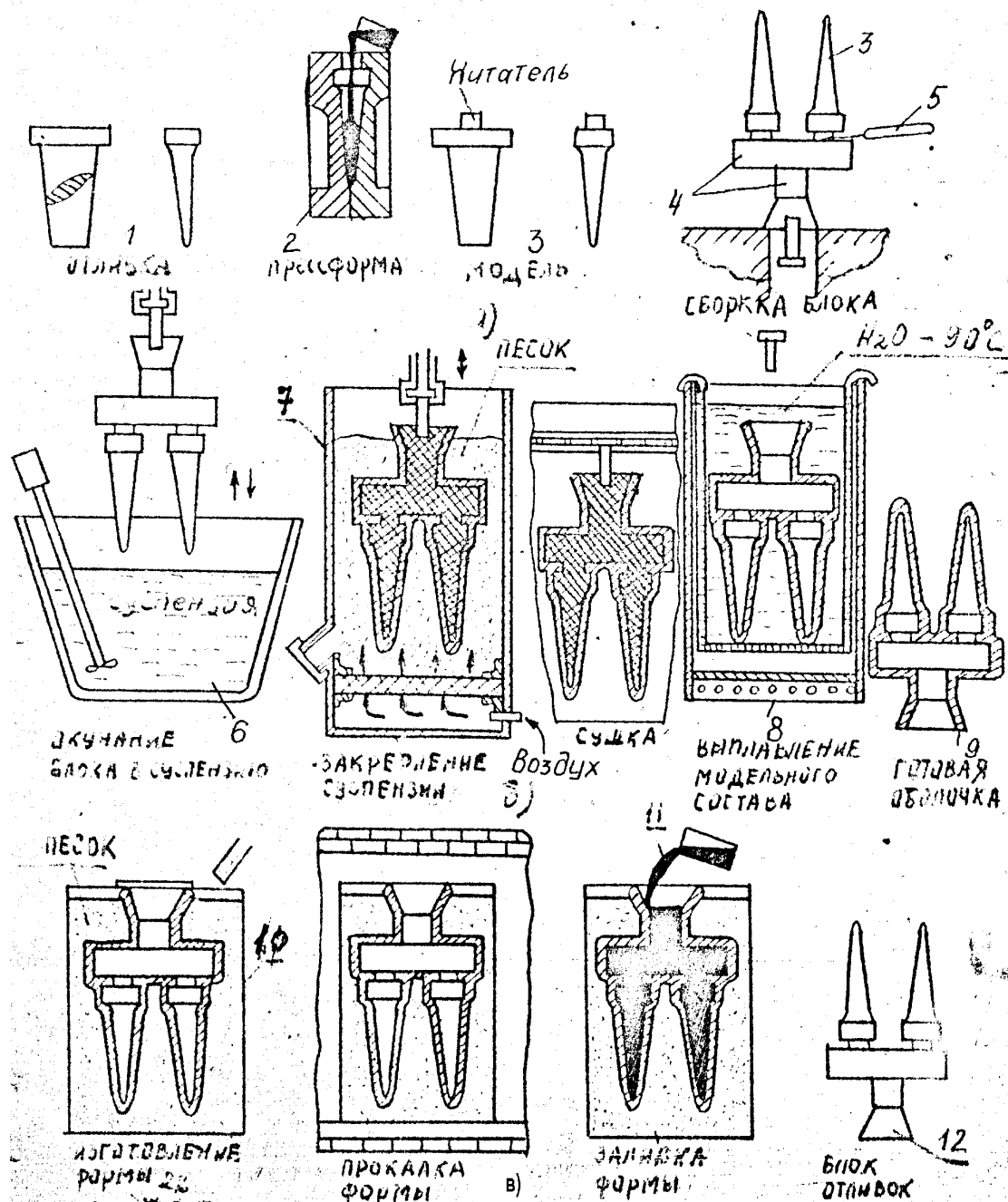
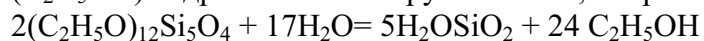


Рис.26 Схема процесса литья по выплавляемым моделям.

Этилсиликат – это смесь эфиров кремниевых кислот. Этилсиликат характеризуется условно процентным содержанием двуоксида кремния. На практике широко распространен этилсиликат 40, содержащий $40 \pm 2\% \text{Si}_2\text{O}$.

Гидролиз – это процесс замещения в эфирах этоксиальных групп ($\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$) гидроксильными группами OH , например:



кремниевая кислота спирт

Кремниевая кислота переходит в коллоидное состояние – золь двуокиси кремния. Собственно связующим в растворе является двуокись кремния, склеивающая зерна основы. Для получения необходимой прочности формы достаточно иметь 12-16% (по массе) SiO_2 в растворе. Так как этилсиликат содержит 40% SiO_2 , то при гидролизе вводят растворители – спирты или ацетон, чтобы довести содержание SiO_2 в готовом растворе, например, до 12-16%. Для ускорения гидролиза вводят катализатор – соляную кислоту (0,2-0,3 HCl на 1 кг этилсиликата).

Для приготовления суспензии в бак 6 с быстроходной пропеллерной мешалкой 7 наливают растворитель, воду и соляную кислоту, затем насыпают пылевидный материал. На один объем суммы жидких составляющих дают до двух объемов пылевидного материала и перемешивают 50-60 мин.

Процесс формирования оболочки состоит в следующем. На поверхность модельного блока окунаем в бак 6 наносят суспензию, которую немедленно закрепляют сухим зернистым огнеупорным материалом (размер зерна равен 0,25 мм). Обычно огнеупорный материал наносится при спускании блока в бак 7 с «кипящим» песком. Через слой песка продувают воздух, песчинки находятся во взвешенном состоянии, а поверхность песка похожа на кипящую воду. В «кипящий» песок тело входит так же легко, как в воду. Затем образовавшийся слой оболочки толщиной около 1 мм сушат при комнатной температуре в течение 3 часов. При сушке испаряется растворитель, слой оболочки твердеет вследствие необратимого процесса перехода коллоидного раствора двуокиси кремния из неустойчивого состояния – золя в устойчивое – гель. Гель цементирует зерна основы и сообщает слою оболочки прочность. Для получения оболочки необходимой толщины на блок наносят последовательно 4-6 слоев и более. Таким образом, цикл нанесения оболочки длится 12-18 часов. Из оболочки моделей отливок и литниковой системы удаляют выплавлением паром или в горячей воде, помещая блок в бак 8 с водой. Получают прочную неразъемную с гладкой рабочей поверхностью оболочковую литейную форму 9. Оболочка 9 после выплавления из нее моделей пропитана водой и частично модельным составом. Для удаления всех веществ, которые могут быть источниками газов, оболочку прокачивают при температуре 900- 1000°C. Для прокачивания оболочки засыпают сухим песком в ящиках 10 из жаростойкой стали (рис. 26 в). После прокачивания в печи формы заливают жидким сплавом 11. Отливки с литниковой системой называют блоками отливок 12.

Литниковая система в отличие от обычного способа литья называется литниковопитающей. Она является несущей конструкцией от момента укрепления на ней моделей до момента отрезки отливок, обеспечивает заполнение полостей формы сплавом и служит прибылью в период затвердевания отливок. Поэтому металл подводят в наиболее массивные части отливок. После охлаждения блока оболочка легко отстает от наружных поверхностей, но прочно удерживается в полостях и отверстиях. Из последних ее удаляют химическим способом – выщелачиванием. (Выщелачивание – извлечение отдельных составляющих твердого материала с помощью растворителя). Отливки, отдельные от литников, загружают в переносный перфорированный барабан вместе со стальной дробью диаметром 1 мм. Барабан погружают в 45%-й водный раствор едкого натра, нагретый до 150°C и вращают 30-40 мин. со скоростью 20-30 об/мин. Едкий натр взаимодействует с пленками геля в оболочке, образуя раствор силиката натрия. После выщелачивания

отливки промывает в подогретой до 50- 80°C воде, затем пассивирует (пассивация- перевод поверхностного слоя металла из активного (в химическом отношении) состояния в пассивное с целью придания ему коррозионной устойчивости) в водном растворе соды с 0,3% натриевой селитры и сушат.

Очищенные отливки подвергают термической обработке в печах с защитной атмосферой и контролируют.

Особенности способа и его применение. Жидкая суспензия пылевидного огнеупорного материала прочно прилипает к модели и точно воспроизводит ее очертания и поверхность. После выплавления моделей из жесткой прочной оболочки образуется неразъемная форма с гладкой рабочей поверхностью и точными размерами, что способствует получению точных по размерам (II качество с чистой поверхностью $R_a=2,5$ мкм) отливок из всех известных сплавов. Форма после прокаливания не содержит газотворных составляющих. Это уменьшает вероятность образования газовых раковин в отливках. Заливка же в горячие формы дает возможность изготавливать тонкостенные сложнейшие отливки. В горячей форме отливка затвердевает медленно, что способствует фильтрации жидкого металла из литниковопитающей системы в отливку и получению металла в ней.

Отмеченные особенности литья по выплавляемым моделям дают возможность получать отливки, сложные по конфигурации с толщиной стенки 1-3 мм и массой до 300 кг.

Стоимость 1 тонны отливок, получаемых по выплавляемым моделям, в 3-10 раз выше, чем изготавливаемых другими способами.

В приборостроении литье по выплавляемым моделям применяют для изготовления отливок в основном из сталей. Обычно отливки бывают сложные небольших размеров с тонкой стенкой и чистой поверхностью. Изготовить сложную тонкостенную стальную деталь другими способами литья не представляется возможным, а изготовление из куска дороже, чем литье по выплавляемым моделям.

4. Литье в кокиль

Кокилем называют металлическую литейную форму из чугуна или стали. Перед заливкой кокилей, рабочую поверхность их окрашивают. Заливают расплав. Кокиль в 3-5 раз быстрее песчано-глинистой формы отводит тепло. Интенсивность затвердевания отливки, а также ее отдельных частей регулируют главным образом температурой нагрева кокиля и толщиной теплоизоляционной краски. Из кокиля отливку удаляют горячей, после чего кокиль охлаждают или подогревают до оптимальной температуры 200-300°C. Цикл повторяется.

Особенности способа и область его применения. Для обеспечения направленного затвердевания рабочую поверхность покрывают краской. Причем литниковые каналы и прибыли покрывают более толстым слоем краски, чем рабочие поверхности, чтобы увеличить время их затвердевания. Интенсивность теплообмена между отливкой и кокилем выше, чем при литье в разовые формы. Поэтому отливки получаются с более плотной мелкозернистой структурой, что значительно повышает свойства магниевых и алюминиевых сплавов. Так как при литье в кокиль можно использовать земляные или оболочковые стержни и вставки, то это дает возможность получать отливки с существенным местным изменением свойств сплава. Например, часть отливки,

затвердевающая при контакте с кокилем, тверже, чем при контакте с земляной вставкой.

Трудоемкость изготовления в кокилях меньше, чем при литье в разовые формы, качество поверхности и точность размеров отливок выше, меньше припуски на обработку, лучше условия труда.

В кокилях трудно изготавливать фасонные стальные отливки, так как из-за интенсивного теплообмена между отливкой и кокилем увеличивается вероятность образования трещин в стали.

Кокиль применяют для изготовления отливок, к которым предъявляются повышенные технические требования, например, плотные без усадочной рыхлости с повышенными механическими свойствами отливки из алюминиевых сплавов с широким интервалом температур затвердевания. Этот способ экономически целесообразно применять, когда партия составляет 300-500 отливок.

5. Литье под давлением

Физическая сущность литья под давлением

Процесс литья под давлением заключается в том, что расплавленный металл заливается в камеру прессования машины, соединенную литниковыми каналами с замкнутой полостью разъемной металлической формы. Под действием поршня металл **принудительно** перегоняется в полость разъемной металлической формы, заполняя ее, он затвердевает и образует отливку. При раскрытии формы отливку удаляют.

Из существующих типов машин для литья под давлением в настоящее время наибольшее распространение получила машина с горизонтально расположенной камерой прессования. На примере этой машины и рассмотрим более подробно цикл литья под давлением.

Современные машины литья под давлением (рис.4.1) состоят из следующих главных механизмов: механизма для заполнения формы (устройство перегоняющее металл из камеры прессования в форму и создающее давление на металл в форме); механизма запирания (устройство закрывающее и открывающее форму) аппарата для управления машиной и гидравлического привода.

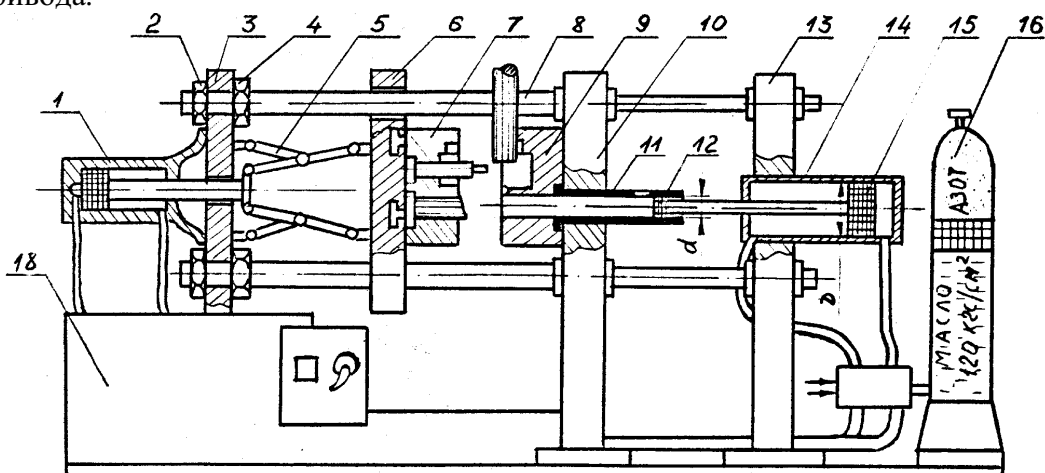


Рис.4.1. Схема машины литья под давлением с горизонтальной камерой прессования.

Все механизмы машины крепятся к сварной станине 18 коробчатого сечения, внутренняя полость которой является масляным баком. Станина устанавливается на бетонный фундамент 17.

Механизм запираания открывает и закрывает форму, передвигая подвижную ее половину 7, и удерживая форму в закрытом положении во время заполнения ее металлом. Подвижная полуформа 7 крепится к подвижной плите 6 машины, которая перемещается по четырем направляющим колоннам 8 машины. Движение подвижной плиты сообщается гидравлическим цилиндром 1 через систему рычагов 5. Цилиндр 1 и две оси рычагов закреплены на плите 3, которая может передвигаться вдоль оси машины при помощи зубчатого колеса и рейки. Перемещение плиты вдоль оси машины обеспечивает возможность установки на машину форм различной толщины. После установки плиты 3 в необходимое положение она фиксируется при помощи гаек 2 и 4.

Неподвижная полуформа 9 крепится к неподвижной плите 10 машины. Гидравлический цилиндр 14 с плунжером 12 диаметра d служит для заполнения формы металлом и удаления литникового остатка. Цилиндр 14 закреплен на неподвижной плите 13, а заливочная камера 11 на плите 10. Гидравлический привод состоит из масляного насоса и аккумулятора 16 и служит для подачи масла в цилиндры 1 и 14 при работе машины. Давление масла P в аккумуляторе составляет 120 кгс/см^2 . При этом усилие p на плунжер 12 будет:

$$P = \pi * D^2 * p / 4, \quad D - \text{диаметр поршня 15.}$$

Для вычисления давления металла в форме следует силу P разделить на площадь плунжера 12, то есть :

$$P_{\phi} = \pi * D^2 * p / (4 * \pi * d^2) = p * (D/d)^2$$

Давление в форме увеличивается пропорционально отношению квадрата диаметров поршня и плунжера. Схему процесса и последовательность действий иллюстрирует рис.4.2

Как было уже сказано, форма состоит из неподвижной и подвижной полуформ (рис.4.2,а). Металлические стержни 8 служащие для образования полостей и отверстий в отливках, находятся, как правило, в подвижной полуформе. Для извлечения отливки из формы предусмотрены выталкиватели 6, 13 которые жестко закреплены в плитах 4 и 5 выталкивателей. Запирающий механизм машины надежно прижимает подвижную полуформу к неподвижной, после чего в камеру прессования 9 через отверстие 18 заливают порцию сплава и включают механизм заполнения. Плунжер 11 при своем движении влево создает давление в камере. Сплав рассекателем 15 направляется в литниковую щель 12, заполняет полость формы и затвердевает (рис.4.2,б). После затвердевания отводят подвижную часть формы вместе с отливкой. При отводе подвижной полуформы движется и плунжер, который из камеры выталкивает литниковый остаток 19 (рис.4.2,в). Плита толкателей перемещается вместе с формой и стержнем 17, упирается в упор 20 (рис.4.2,г). Упор останавливает плиту толкателей, а форма продолжает перемещаться. Выталкиватели снимают отливку 21 со стержня 8 и она падает на транспортер или в конвейер. Форма во время работы охлаждается водой, проходящей по каналам 7.

Возможности способа. Литьем под давлением получают сложные тонкостенные отливки из цветных металлов массой от нескольких грамм до нескольких килограммов.

Качество деталей отливаемых под давлением, оценивается точностью размеров, классом шероховатости поверхности, механическими свойствами и пористостью.

Точность размеров зависит от точности изготовления прессформы, от конфигурации и положения различных элементов отливок в форме, от степени износа формы, от колебания усадки сплава и др.

Внутренние размеры – отверстия можно выполнять по 9 качеству, наружные размеры – II качеству.

Шероховатость поверхности отливок зависит от шероховатости оформляющих поверхностей прессформы и от степени ее износа и для отливок из цинковых сплавов может быть до 8 класса, из алюминиевых сплавов до 6 класса и медных сплавов до 5 класса шероховатости.

Толщина стенок. Для поверхностей, которые подвергаются механической обработке, назначают припуски до 0,3 до 0,5 мм.

Значения минимально допустимых толщин стенок отливки в зависимости от размеров их поверхности приведены в таблице.

Таблица 1. Минимальная толщина стенок отливок, получаемых литьем под давлением.

Поверхности отливок в см ²	Минимально допустимая толщина стенок для цинкового сплава	Минимально допустимая толщина стенок для магниевого сплава	Минимально допустимая толщина стенок для алюминиевого сплава	Минимально допустимая толщина стенок для медного сплава
менее 25	0,8	10,3	1,0	1,5
до 150	1,0	1,8	1,5	2,0
до 250	1,5	2,5	2,0	3,0
свыше 250	2,0	3,0	2,5	3,5

Механические свойства отливок, полученных под давлением, значительно отличаются от свойств отливок, изготовленных другими способами литья. При быстром охлаждении у отливок образуется литейная корочка с очень мелкозернистой структурой, толщина которой составляет около 0,5-1,0 мм. Поэтому тонкостенные отливки имеют мелкозернистую структуру, повышенную прочность и твердость на 20-30 % при одновременном снижении пластических свойств на 30-50% по сравнению с литьем в землю.

Пористость, вскрывающаяся при механической обработке, становится причиной брака большого числа отливок. Источниками пористости являются усадка сплава, воздух, который захватывается потоком жидкого металла в полости формы, и газы выделяющиеся из жидкого металла. Переход на литье под давлением снижает трудоемкость изготовления отливок в 10-12 раз в литейных и 5-8 раз в механических цехах.

Развитие массового производства в оптико-механической промышленности в некоторой степени способствовало широкому внедрению литья под давлением. Корпуса фотоаппаратов и биноклей, детали биноклей, микроскопов, геодезических приборов, спецдеталей – вот далеко не полный перечень применения литья под давлением в этой промышленности.

Отливки составляют почти половину всех деталей оптико-механических приборов.

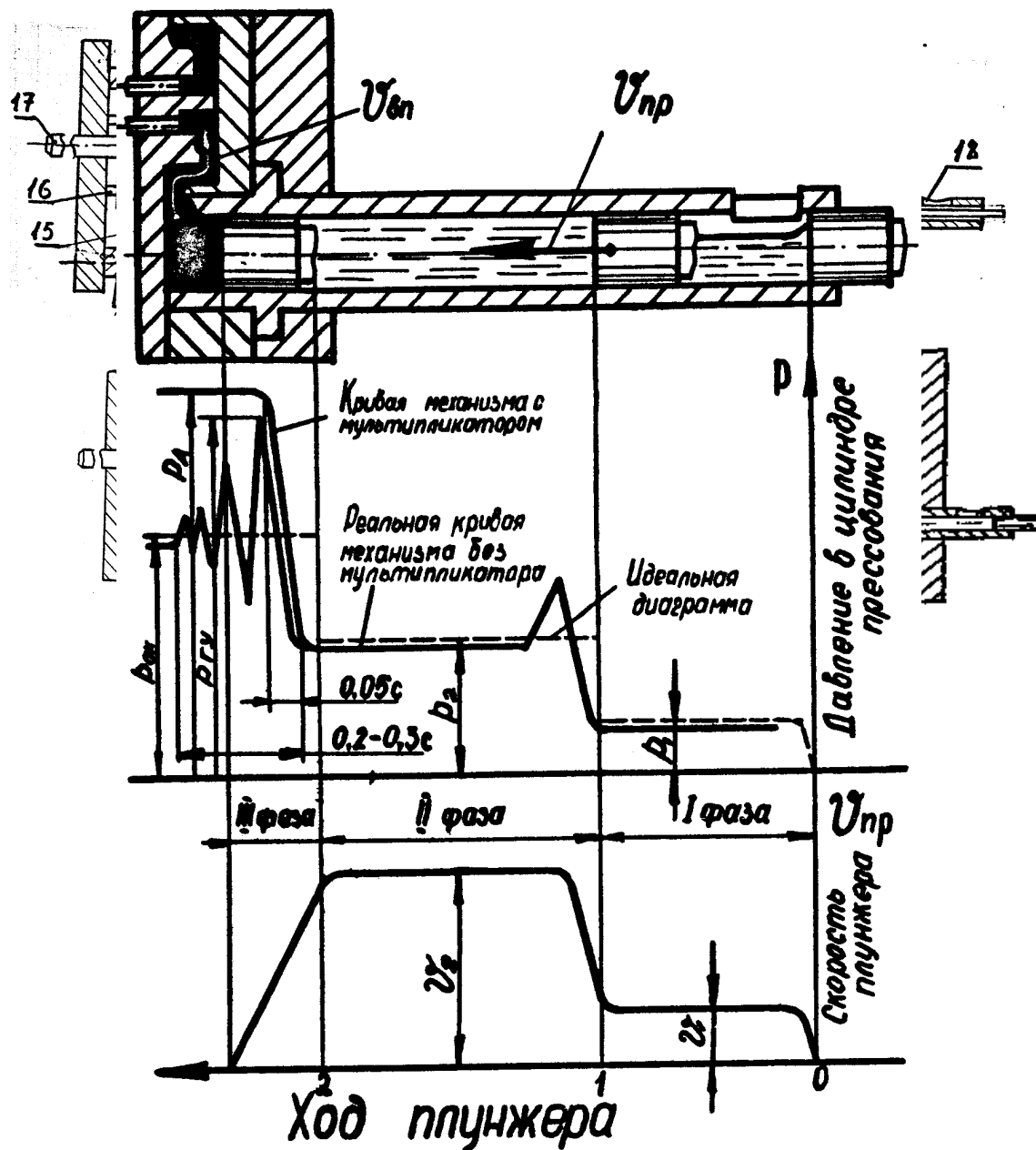


Рис.4.2. Схема литья под давлением на машине с горизонтальной камерой прессования.

Особенности способа. Процесс литья под давлением осуществляется в три фазы: I – медленное движение плунжера до момента поступления сплава в литниковую систему, воздух из камеры через полость формы выгоняется в атмосферу; II – заполнение сплавом с большой скоростью полости формы; III – затвердевание отливки (см. рис. 4.3).

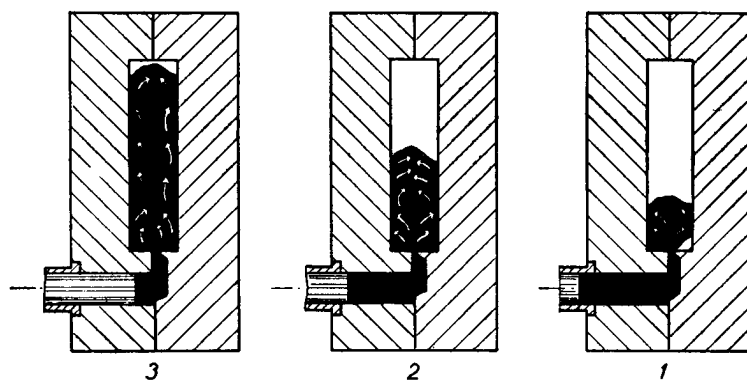
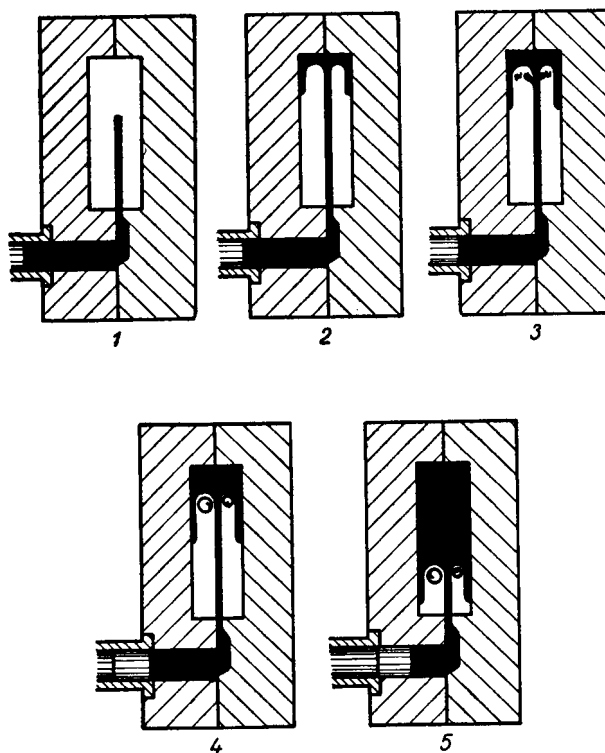


Рис 4.3.

Соответственно, с каждой фазой изменяется давление в рабочей полости цилиндра прессования, а значит и давление на жидкий сплав. Обычно цикл литья описывается диаграммой давление-время, которая представлена на рис.4.3. Штриховой линией показана диаграмма идеального цикла. В течение 1 фазы действует низкое давление p_1 , всего несколько атмосфер, хотя энергетическая установка машины обычно развивает давление до 120 кг/см^2 .



а)

б)

Рис. 4.4. Виды заполнения.

Величина p_1 зависит от сопротивления сплава, оказываемого плунжеру при его движении. В момент, когда плунжер достигнет точки 1 сплав входит в

литниковую систему, сечение которой значительно меньше сечения камеры. В этот же момент значительно увеличивается скорость плунжера. Так как через литниковую систему сплав проходит с большим сопротивлением, то и давление возрастает до величины p_2 (около 10 кгс/см^2) и удерживается на таком уровне до точки 2, когда закончится заполнение формы. В течение второй фазы сплав заполняет форму в доли секунды (0,01-0,06) при скорости впуска металла от 2 до 120 м/с. В зависимости от скорости впуска различают три вида заполнения: ламинарным сплошным потоком рис.4.4.а, турбулентным потоком рис.4.4.б и дисперсным потоком. Из-за большой скорости впуска только часть газа (10-30%) удаляется из полости формы, которая заполнена воздухом и парами смазки. Оставшийся газ смешивается со сплавом, образуется воздушно-металлическая смесь, которая затем и затвердевает. Поэтому отливки, полученные под давлением, имеют специфический, присущий только этому способу дефект – **обширную газовую пористость**. Отливки имеющие такую пористость, нельзя закаливать, потому что при нагревании под закалку прочность металла падает, давление газа в порах увеличивается до величины, при которой происходит осповидное вздутие поверхности отливки.

В момент окончания заполнения полости формы (точка 2) движущая система – жидкий сплав, прессующий плунжер, мгновенно останавливается. Энергия движения преобразуется в энергию давления, происходит гидравлический удар, величина которого $p_{г\text{у}}$ обычно в два раза больше, чем давление в аккумуляторе. Гидравлический удар полезен и в тоже время вреден.

Полезное его действие заключается в том, что быстро повышенное давление прижимает жидкий сплав к рабочей поверхности формы и способствует четкому оформлению конфигурации отливки, как говорят «чеканит» ее поверхности.

Вредное действие гидроудара заключается в том, что процесс колебания давления при гидроударе способствует коагуляции мелких газовых раковин в крупные, что значительно снижает качество отливок. Кроме того, под действием гидроудара подвижная полуформа может отойти от неподвижной. Между полуформами образуется зазор через который происходит разбрызгивание металла. На отливках образуется облой по разьему формы, и снижается точность отливок в направлении, перпендикулярном разьему формы. Обычно для получения высоких скоростей впуска применяют тонкие щелевые питатели, которые затвердевают раньше, чем затухнет гидроудар. Отливка отделяется от жидкого прессостатка. Питание из прессостатка в камере прессования, который мог бы служить прибылью прекращается. Затвердевание происходит без компенсации усадки жидким сплавом, в стенках, кроме газовых, появляются усадочные поры.

Таким образом, в отливке, полученной литьем под давлением наблюдается как газовая, так и усадочная пористость. Это главный недостаток способа литья под давлением.

Совершенствование этого исключительно прогрессивного по точности и производительности способа литья направлено на предупреждение газовой и усадочной пористости. Известны следующие направления: 1) вакуумирование полости формы, а также сплава, поскольку воздушная пористость является главным дефектом отливок, 2) Осуществление передачи статического давления через толстые питатели из камеры прессования на сплав в форме (процесс передачи статического давления в полость формы назвали **подпрессовкой**).

Высокое давление должно компенсировать усадочную пористость, то есть отливка формируется при направленном затвердевании, и сжимать газовую пористость до микроскопических размеров. Микропоры при нагреве отливки под закалку не вздуваются. 3) Совместное использование первого и второго направлений. 4) Заполнение полости формы кислородом перед началом заливки. Кислород используется на окисление сплава с образованием очень малого количества окислов.

В настоящее время первое и четвертое направления не нашли широкого применения по двум причинам. Во-первых из-за технической сложности их реализации в производственных условиях, во-вторых названные способы устраняют газовую пористость и не позволяют компенсировать усадочную пористость.

В мире получил развитие второй способ, для реализации которого создавалось большое разнообразие механизмов прессования.

При литье под давлением на машине с холодной вертикальной камерой устройство пресс-формы аналогично устройству формы, показанной на рис. 28. В смазанную вертикальную камеру прессования 1 (рис. 29 а) заливают дозу сплава 2. При движении вниз плунжер 3 давит на сплав, перемещает вниз поршень 6, а в результате чего открывается отверстие 5, соединяющее камеру с пресс-формой, после заполнения которой плунжер поднимается, а специальный механизм поднимает поршень 6, при этом отрезаются литник и прессостаток поднимается вверх.

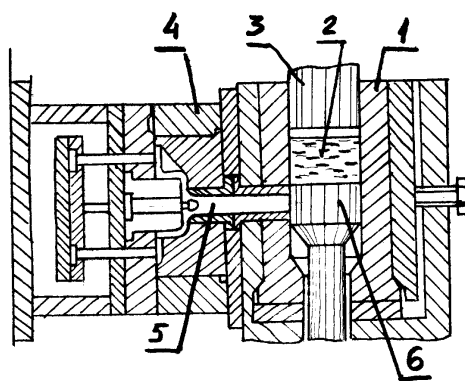


Рис. 29. Схема литья под давлением с вертикальной камерой прессования.

В настоящее время, хотя в цехах и много еще машин с вертикальной камерой, но они вытесняются машинами с горизонтальной камерой, так как последние производительнее, проще в обслуживании и легче механизмируются.

Литье под давлением начиналось с машин с горячей камерой прессования, когда в 1838 году они были применены для изготовления литер с изображением букв для газетопечатных машин.

Машина с горячей камерой (рис.30) имеет тигель 4, обогреваемый нагревателями 6, в который расплав 10 заливается из раздаточной печи. Прессующий плунжер 2 через шток 1 соединяется с поршнем пневмоцилиндра, при работе которого плунжер опускается вниз, перекрывает отверстия 5, через которые расплав поступает в камеру прессования 3. Под давлением плунжера металл поднимается по каналу 7 и заливает полость формы, состоящей из

неподвижной части 8 и подвижной 9. Конструкция формы аналогична рассмотренной на рис. 28.

На машинах с горячей камерой изготавливают отливки из цинковых сплавов, температура которых около 430°C. Применение горячекамерных машин для переработки алюминиевых сплавов сдерживалось из-за низкой стойкости камеры и плунжера, так как алюминиевые сплавы имеют большую температуру (около 700°C) и склонны к разъеданию поверхности камеры и плунжера.

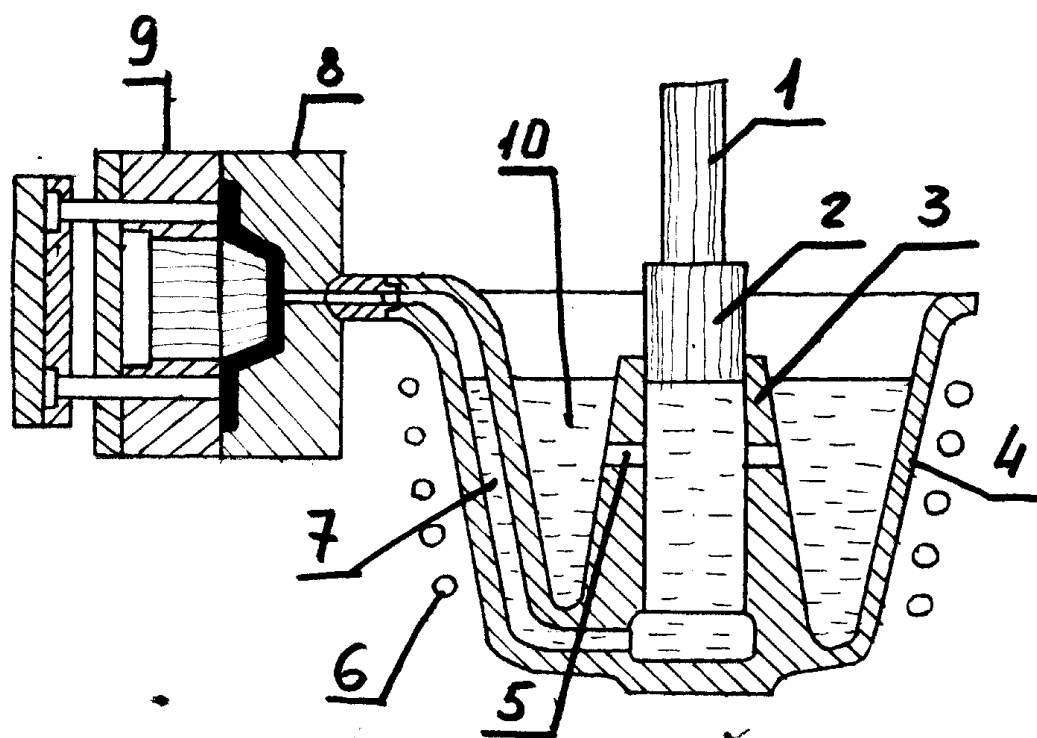


Рис. 30. Схема литья под давлением с горячекамерной машиной.

Основное преимущество горячекамерной машины – это простота процесса и легкость автоматизации. Поэтому в последние годы велись поиски материала для камеры и плунжера, который противостоял бы воздействию горячего алюминиевого сплава. Создано несколько конструкций машин, работающих на алюминиевых и магниевых сплавах.

6. Центробежное литье

При центробежном литье осуществляют заливку сплава во вращающуюся форму. Форма может быть металлическая или разовая. Можно изготавливать детали типа труб или колец, а также и фасонные отливки. В приборостроении центробежное литье применяют для изготовления фасонных отливок в формах, полученных по выплавляемым моделям. При этом используется центробежная установка с вертикальной осью вращения, как это показано на рис. 32. Формы 2 устанавливаются на стол 1, после чего он приводится во вращение и расплав заливается в заливочную чашу 3 откуда под

действием центробежной силы поступает в полость формы. Вращение стола продолжается до полного затвердевания отливок.

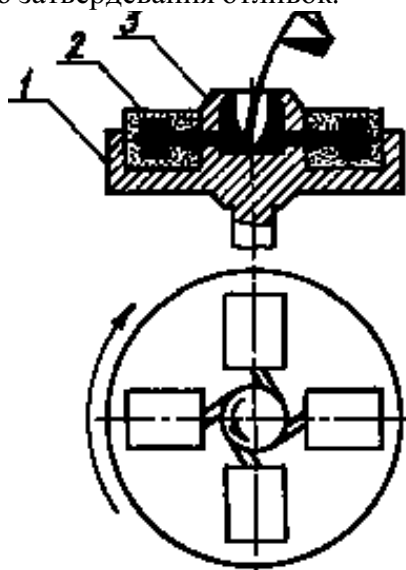


Рис. 32. Схема центробежного литья.

Особенности центробежного литья. Первая особенность. Охлаждение расплава начнется в первую очередь в литниковой чаше из-за теплоотдачи в воздух. Охлажденные частицы металла, как более тяжелые, имеющие большую плотность под воздействием центробежных сил устремляются в радиальном направлении в форму и перемещаются в более горячем и легком металле. Горячий металл вытесняется в более холодную зону из глубинных слоев тонущими частицами, которые могут быть жидкими, но более холодными. Таким образом, при затвердевании металла во вращающейся форме в радиальном направлении непрерывно происходит конвекция. Металл в чаше обогащается горячим расплавом из глубинных слоев отливки, что предотвращает его затвердевание. Затвердевание идет строго направленно. Металл в чаше до последнего момента может оставаться жидким и питать отливку.

Вторая особенность. На любую частицу вращающегося расплава действуют силы гравитации P и центробежная Q . Отношение $Q/P=K$ называют гравитационным коэффициентом $K=30-50$ и даже более 100. Если условно применить «тяжесть» к частице находящейся под действием центробежной силы, то окажется, что эта частица металла становится в десятки и сотни раз тяжелее в поле центробежных сил, чем в поле земного притяжения. Гравитационный коэффициент показывает во сколько раз тяжелее становится сплав при его вращении.

Утяжеление частиц сплава является второй, самой характерной особенностью центробежного литья, способствующей получению плотных отливок.

При затвердевании в неподвижной форме в процессе питания отливки перемещение сплава по капиллярам происходит под действием сил земного притяжения, атмосферного давления и капиллярных сил. Эти силы часто оказываются недостаточными и отливки получаются пористыми.

При центробежном литье к отмеченным силам добавляется в десятки раз большая центробежная сила. Частицы жидкого металла перемещающиеся к периферии, утяжелены в десятки раз, и заполняют непрерывно образующиеся при затвердевании межкристаллические пустоты.

Центробежные силы создают условия не только строго направленного затвердевания отливки (первая особенность), но и многократно усиленного питания жидким металлом затвердевающего слоя. А это, как известно, главные условия получения плотных беспористых отливок.

Третья особенность. При обычном литье неметаллические и газовые включения всплывают благодаря разности плотностей металла и включений. Они всплывают медленно и мало вероятно, чтобы могли полностью выделиться, так как на своем пути встречают затвердевающий сплав.

При центробежном литье затвердевание строго направленное. Зона последнего затвердевания должна быть всегда ближе к оси вращения. Поэтому неметаллические включения (как наиболее легкие) всегда выносятся в зону последнего затвердевания.

Отливки получаются с меньшим количеством неметаллических включений.

Рассмотренные процессы, происходящие при кристаллизации отливки во вращающейся форме характерны для большинства сплавов. Однако имеются исключения из этого общего правила, когда центробежные силы могут оказывать вредное действие.

Исключение первое. Жидкость гетерогенная (это жидкость, состоящая из несмешиваемых компонентов), например, расплав свинцовой бронзы представляет собой эмульсионную смесь свинца и меди. Во вращающейся форме свинец центробежными силами отбрасывается к периферии, а медь, как более легкая, вытесняется к центру вращения. Ликвация может проявиться настолько сильно, что внутренняя часть отливки окажется медной. Предупредить это вредное явление можно усилением охлаждения отливки снаружи (водоохлаждаемая металлическая форма) и одновременно снижением скорости вращения формы.

Исключение второе. Выпадающая твердая фаза легче жидкости, например, заэвтектический силумин, содержащий более 12% кремния. В начале затвердевания такого сплава выделяются кристаллы чистого кремния, которые легче алюминия, и они центробежной силой оттесняются в зону последнего затвердевания отливки. Так и образуется твердая корка, то есть затвердевание идет с двух сторон от периферии и от центра. К концу затвердевания в средних слоях будут усадочные пустоты.

Область применения центробежного литья определяется особенностями процесса затвердевания отливок, техническими и экономическими преимуществами этого способа.

Центробежным способом можно получить более тонкостенные отливки, чем при литье в неподвижную форму. Производительность труда выше, а условия труда лучше, чем при литье в разовые формы.

Центробежным способом изготавливаются крупные отливки из легированных сталей, втулки и венцы из антифрикционных сплавов, детали из жаропрочных и титановых сплавов.

Глава 6 Рекомендации по конструированию отливок

1. Конструктивные характеристики литой детали

Приступая к работе конструктор должен иметь техническое задание на проектирование детали, которое содержит:

- функциональное назначение с указанием рабочих и базирующих поверхностей;
- тип производства (объем выпуска).

При выполнении работы рекомендуется придерживаться последовательности приведенной ниже.

Выбор материала.

Выбор материала – весьма важный этап конструирования деталей, так как здесь закладываются многие показатели качества конструкции в целом, такие как масса, прочность, жесткость, экономичность и др.

Знание материалов и умение находить необходимый среди известного в технике широкого набора материалов обязательны для инженера-конструктора. Знать материалы – значит располагать конкретными сведениями о номенклатуре, физико-механических и технологических свойствах основных конструкционных материалов, применяемых в отрасли: необходимо также общее представление о физической природе основных конструкционных сплавов.

Определение формы.

Форма детали обуславливается формами ограничивающих деталь поверхностей, их сочетанием и соотношением; выбор форм деталей сводится к выбору форм поверхностей из набора существующих (плоскость, цилиндр, сфера и т.д.) При выборе формы руководствуются рядом критериев, из которых главными являются следующие: функция детали, конструктивная целесообразность, технологичность и эстетичность. На выбор формы рабочего и базирующего элементов решающее влияние оказывает функция детали. В работе (Кулагин В.В.) отмечается, что функция детали лишь слабо коррелирует с формами поверхностей свободных элементов, представляя конструктору широкий выбор. Это неверно. Выбор формы свободных поверхностей полностью обуславливается функциональным назначением детали. Свободные поверхности определяют прочность, жесткость, точность, размеры, эстетичность и технологичность детали.

Определение и нанесение размеров.

Геометрические размеры – основные конструктивные параметры деталей – подразделяются в зависимости от принадлежности их к структурным элементам детали на следующие:

- размеры рабочих элементов;
- размеры базирующих элементов;
- размеры, координирующие рабочие и базирующие элементы между собой;
- размеры свободных элементов.

Первые три вида размеров будем называть функциональными.

Определение размеров (номинал и допуск) соответствует приведенному делению.

Размеры рабочих элементов определяют в основном из условий функциональной точности детали, которая в оптических приборах вытекает из расчетов оптических схем.

Размеры базирующих элементов определяются из условия точности ориентирования рабочего элемента детали относительно других (сопрягаемых) деталей прибора. Точность ориентирования выявляется из расчета оптической схемы (или другой функциональной схемы).

Координирующие размеры назначаются исходя из расчетов оптической схемы (или другой функциональной схемы). Так как точность этих размеров при их обработке зависит от компоновки детали (жесткости), то деталь усиливается ребрами и фланцами.

Свободные размеры обеспечивают функциональную точность детали при точности самих размеров, соответствующей точности процесса изготовления заготовки.

2. Основные критерии выбора материала

Рассмотрим только основные критерии определяющие выбор материала: прочность, жесткость, масса детали, точность размеров и обрабатываемость, технологичность.

Прочность. Основная масса деталей оптических приборов не требует высокой прочности. Прикидочные расчеты на прочность показывают, что для восприятия конструкцией детали силового воздействия, достаточно назначить толщину стенки один миллиметр. Силовое воздействие бывает больше при механической обработке детали или при сборке. Но деформации в этом случае поддаются расчету. Следует заметить, что деформации можно рассчитать лишь в простейших случаях методами сопротивления материалов и теории упругости. В большинстве случаев приходится иметь дело с нерасчетными деталями, сечения которых определяются условиями изготовления (технологией литья под давлением) Поэтому конструктор назначает технологическую толщину стенки конструкции (соответствующую минимальной толщине способа получения заготовки). Стенки деталей полученных литьем под давлением имеют неодинаковую прочность в поперечном сечении из-за быстрой кристаллизации и различных ее условий (наружные стенки, внутренние стенки). Прочность максимальна в поверхностном слое, где металл приобретает мелкокристаллическую структуру и где образуются благоприятные для прочности остаточные напряжения сжатия.

Чем толще стенка, тем резче разница между прочностью сердцевины и корки, поэтому увеличение толщины стенки не сопровождается пропорциональным увеличением прочности.

По этим причинам, а также для уменьшения массы целесообразно стенки отливок выполнять наименьшей толщины, которая допускается условиями литья.

Необходимую прочность и жесткость обеспечивают формой детали; ребрением, приданием детали выпуклых, сводчатых, сферических, конических и тому подобных форм. Такой метод всегда приводит к получению более легких конструкций.

После этого сразу же возникает второй критерий, связанный с первым.

Жесткость. Известно, что работоспособность конструкции в той же мере, как и прочность (а иногда и в большей), определяет жесткость. Жесткость имеет большое значение для приборов облегченного типа. Стремясь облегчить конструкцию и максимально использовать прочностные ресурсы материала, конструктор в данном случае повышает уровень напряжения, что сопровождается увеличением деформаций.

Жесткость оценивают *коэффициентом жесткости*, представляющим собой отношение силы P , приложенной к системе, к максимальной деформации f , вызываемой этой силой.

Для случая растяжения-сжатия бруса постоянного сечения в пределах упругой деформации коэффициент жесткости согласно закону Гука

$$\lambda = \frac{P}{f} = \frac{\sigma F}{f} = \frac{EF}{l},$$

где F – сечение бруса, мм²; l – длина бруса в направлении действия силы, мм; E – модуль нормальной упругости материала.

Жесткость конструкций определяют следующие факторы:

- модуль упругости материала (модуль нормальной упругости E при растяжении-сжатии и изгибе, модуль сдвига G – при сдвиге и кручении);
- геометрические характеристики сечения деформируемого тела (сечение F при сдвиге и растяжении-сжатии, момент инерции I при изгибе, полярный момент инерции I_p при кручении);
- линейные размеры деформируемого тела (длина l);
- вид нагрузки и тип опор.

Модуль упругости является устойчивой характеристикой металлов, мало зависит от термообработки и содержания легирующих элементов и определяется лишь полностью атомно-кристаллической решеткой основного компонента.

На жесткость конструкции косвенно влияет прочность материала. При прочих равных условиях деформации пропорциональны напряжениям. Но напряжения принимают, как правило, пропорциональными прочности материала; допустимые напряжения представляют собой отношение предела прочности (или предела текучести) к коэффициенту прочности. Следовательно, чем выше прочность материала, тем больше допустимое напряжение и при прочих равных условиях больше деформация системы. Напротив, чем меньше запас прочности и ближе действующее в системе напряжение к пределу прочности, тем больше деформация и меньше жесткость системы.

Наиболее простой способ уменьшения деформаций заключается в уменьшении уровня напряжений. Однако этот путь не рационален, так как он сопряжен с увеличением массы конструкции.

При сравнении жесткости, прочности и массы деталей, изготовленных из различных материалов, следует различать четыре основных случая:

1. Детали одинаковые по конфигурации (при равной нагрузке имеют одинаковое напряжение).
2. Детали равностойкости (имеют одинаковые деформации при различных сечениях и напряжениях).

3. Детали равнопрочны (имеют одинаковый запас прочности, различные сечения и напряжения, пропорциональные пределу прочности материала).
4. Детали имеют одинаковую массу.

Первый случай (замена материала детали другим без изменения ее геометрических размеров) практически встречается, когда сечение детали задано технологическим процессом (например, литые детали).

Показатели массы, жесткости и прочности при растяжении-сжатии для рассмотренных случаев сведены в таблице 18. Значения удельной прочности и удельной жесткости одинаковы для всех материалов.

Таблица 18. Характеристики массы, прочности и жесткости.

Детали	Масса, m	Прочность, n	Жесткость, λ
Одинаковой конфигурации	γ	$\sigma_{0,2}$	E
Равножесткие	γ/E	$\sigma_{0,2}/E$	const
Равнопрочные	$\gamma/\sigma_{0,2}$	Const	$E/\sigma_{0,2}$
Равной массы	const	$\sigma_{0,2}/\gamma$	E/γ

В случае одинаковой конфигурации по жесткости E и прочности $\sigma_{0,2}$ наиболее выгодны стали и сплавы титана, а по массе γ – сплавы алюминия и магния.

Так как модуль упругости сплавов определяется модулем упругости основного компонента и мало зависит от содержания легирующих элементов, то в случае деталей одинаковой конфигурации, когда на первом плане стоят требования жесткости а уровень напряжения не высок, целесообразно применять наиболее дешевые материалы (например, алюминиевые сплавы вместо сложно легированных). Если же наряду с жесткостью имеет значение прочность, то предпочтительны прочные сплавы.

Точность размеров. Зависит от точности формы, величины усадки сплава и конфигурации отливки. Материал влияет на точность отливок в основном через усадку. Чем меньше усадка сплава, тем меньше ее влияние на точность размеров детали. Подробно формирование точности размеров будет рассмотрено ниже.

Масса отливки. Если конструкция создается для использования в летательных аппаратах, то встает вопрос о минимизации массы отливки (хотя и в общих случаях излишняя масса грозит экономическими потерями). Выше было показано, что масса отливки тесно связана с прочностью, жесткостью и конфигурацией детали.

Выбор материала по его обрабатываемости.

Обрабатываемость обычно определяется цифровыми показателями, полученными путем сравнения данного металла с металлом эталоном. По нормам основным показателем обрабатываемости известного металла принимается скорость резания, соответствующая стойкости резца в течение 60 мин при соблюдении установленных условий резания. Величина сопротивления резанию и гладкость обработанной поверхности считаются дополнительными показателями.

Принимая в качестве эталона (обрабатываемость 100%) автоматную сталь с содержанием 0,12% С, можно получить следующие приблизительные величины показателей обрабатываемости для различных сплавов (в %):

Латунь	200
Сплавы цинка	200
Сплавы алюминия	300-1500
Сплавы магния	500-2000

Следует отдельно отметить сплав АЛ2 за его плохую обрабатываемость особенно при литье под давлением. Причина в следующем. Это эвтектический сплав при содержании кремния в эвтектике 11%. Обычно кремния в сплаве содержится 13%, поэтому при быстрой кристаллизации избыток кремния выпадает по полю эвтектики в виде песчинок повышенной твердости, что приводит к быстрому износу резца. Кроме того, низкие механические свойства сплава не позволяют получить чистую поверхность после резания.

Выбор формы.

Форма детали определяется ее функциональным назначением. При выборе формы руководствуются рядом критериев, из которых главными являются следующие: функция детали, конструктивная целесообразность, технологичность и эстетичность.

Функция детали оказывает, как правило, сильное влияние на выбор формы сопрягаемых поверхностей РЭ и БЭ. Обычно бывает достаточным ограничиться группой типовых поверхностей – плоскость, цилиндр, сфера – и это верно, так как отработаны технологические методы их обработки. Однако никак нельзя согласиться с выводом сделанным в работе В.В.Кулагина «Основы конструирования оптических приборов»: «Функция детали лишь слабо коррелирует с формами поверхностей СЭ». Очевидно, что прочность и жесткость (а это критерии функции детали) во многом определяются формами и расположением поверхностей свободных элементов детали. Нельзя согласиться и с тем, что простота механической обработки является основным фактором при выборе формы поверхности. Безусловно, это важно, но главным является – обеспечение условий выполнения функционального назначения.

Здесь анализируются основные факторы, формирующие главные показатели качества детали и во многом зависящие от технологии литья под давлением – прочность, жесткость, точность.

Конструктивные способы повышения жесткости.

Как было сказано выше в деталях оптических приборов наиболее важным показателем качества является не прочность, а жесткость. Недостаточная жесткость детали проявляется не только в процессе эксплуатации, но и при механической обработке, когда под воздействием силы резания деталь упруго деформируется, что приводит к существенной потере точности обработки.

Главные конструктивные способы повышения жесткости без существенного увеличения массы следующие:

- *всемерное устранение изгиба, замена его растяжением или сжатием;*
- *для деталей, работающих на изгиб целесообразная расстановка опорных стенок, исключение не выгодных по жесткости видов нагружения;*
- *рациональное, не сопровождающееся возрастанием массы, увеличение моментов инерции сечений;*
- *рациональное усиление ребрами, работающими предпочтительно на сжатие;*

- усиление участков перехода от одного сечения к другому;
- блокированием деформаций введением поперечных и диагональных связей;
- для деталей коробчатого типа – применение скорлупчатых, сводчатых, сферических, яйцевидных и тому подобных форм;
- для деталей типа дисков – применение конических, чашечных, сферических форм; рациональное оребрение, гофрирование;
- для деталей типа плит – применение прочных, коробчатых, дутельных, ячеистых и сотовых конструкций.

Анализируя эпюры напряжений при разных нагрузках, можно отметить следующее.

Для повышения жесткости без увеличения массы деталей необходимо усиливать участки сечений, подвергающихся при данном виде нагружения наиболее высоким напряжениям, и удалять ненагруженные и мало нагруженные участки. При изгибе напряжены сечения, наиболее удаленные от нейтральной оси. При кручении напряжены внешние волокна; по направлению к центру напряжения уменьшаются, и в центре они равны нулю. Следовательно, целесообразно всемерно развивать наружные размеры, сосредотачивая материал на периферии и удаляя его от центра.

Наибольшей жесткостью и прочностью при наименьшей массе обладают развитые по периферии полые тонкостенные детали типа коробок, труб и оболочек.

Примеры согласования конструкции с технологией литья.

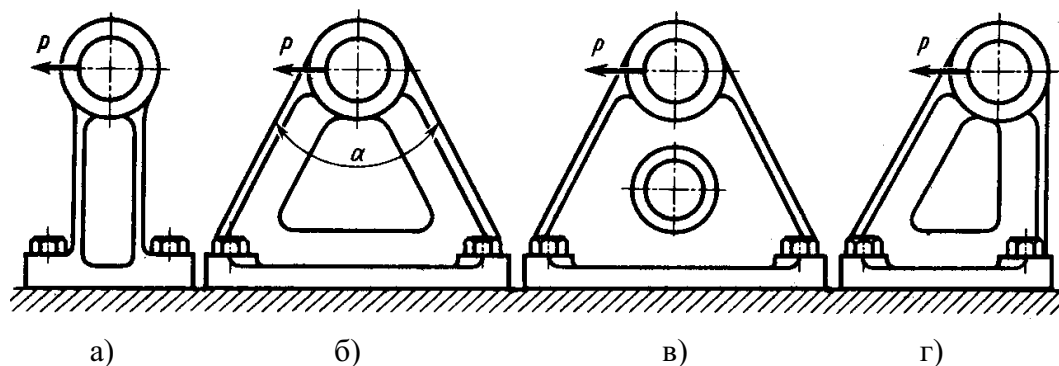


Рис.6.7. Конструкции литых кронштейнов разной жесткости.

На рис.6.7 приведены модификации кронштейна с различными усилениями жесткости. Балочный кронштейн подвергается изгибу (рис.6.7,а), тогда как в раскосом кронштейне стержни работают преимущественно на растяжение-сжатие (рис.6.7,б). Конструкция становится еще более прочной и жесткой, если стержни кронштейна соединить сплошной перемычкой, связывающей их в жесткую систему (рис.6.7,в). Кронштейн ферменного типа с вертикальным стержнем (рис.6.7,г) значительно менее жесткий, чем кронштейн на рис.6.7,б, так как конец вертикального стержня под нагрузкой перемещается приблизительно по направлению действия силы и для ограничения деформаций его жесткость не используется.

Все виды рассмотренных кронштейнов могут быть оформлены любым способом заполнения при литье под давлением.

Если кронштейн на рис.6.7,г заполнять дисперсным потоком, то трубчатый вертикальный стержень будет хорошо работать и на изгиб.

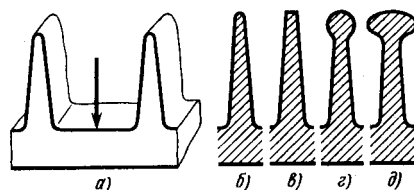


Рис.6.8. Консольные литые тонкостенные системы.

В тонкостенном цилиндрическом отсеке, несущем поперечную силу P (рис.6.8,а), все участки, расположенные по образующим, подвергаются изгибу. Нагрузку воспринимают преимущественно боковые стенки (рис.6.8,б), параллельные плоскости действия изгибающего момента (зачернены на рисунке), так как их жесткость в этом направлении во много раз больше жесткости стенок, расположенных перпендикулярно плоскости действия момента.

При конической форме (рис.6.8,в,г), приближающей конструкцию к ферменной, стенки конуса, расположенные в плоскости действия изгибающего момента работают: верхние на растяжение, а нижние, подобно раскосу, на сжатие. Боковые стенки испытывают преимущественно изгиб; их жесткость соизмерима с жесткостью верхних и нижних стенок. Следовательно, при конической форме стенки отсека полностью включаются в работу; прочность и жесткость конструкции увеличивается.

Связь между растянутыми и сжатыми стенками осуществляют кольца жесткости m и n , которые помимо силового замыкания предотвращают овальность конуса под действием нагрузки. Такие кольца являются непременным условием правильной работы тонкостенных конструкций. Близки к конусам по жесткости тюльпанные (рис.6.8,д), сферические (рис.6.8,е), тороидные (рис.6.8,ж) и аналогичные формы.

Литьем под давлением тонкостенные конструкции лучше оформлять дисперсным потоком. Получившаяся сотовая конструкция будет хорошо работать как на растяжение так и на сжатие. Отметим, что конструкция по рис.6.8,г не может быть получена литьем под давлением из-за невозможности оформления внутренней полости. Трудно оформить конструкции по рис.6.8,в,д. Для литья под давлением подходят конструкции по рис.6.8,г,ж.

Оребрение.

Для увеличения жесткости, особенно литых корпусных деталей, широко применяют оребрение. Однако при этом необходимо соблюдать осторожность, так как неправильное соотношение сечений ребер и оребряемой детали может вместо упрочнения привести к ослаблению.

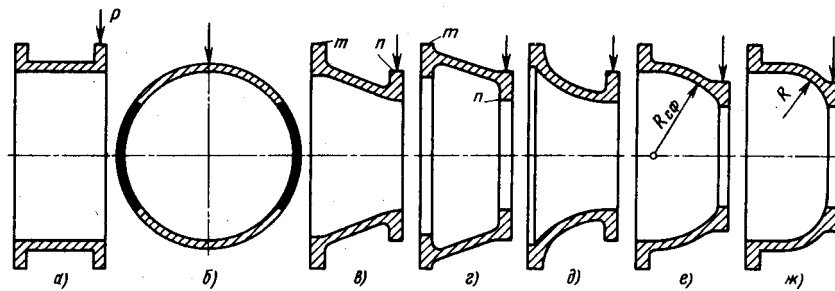


Рис.6.9. Формы ребер.

У деталей подвергающихся изгибу в плоскости расположения наружных ребер (рис.6.9,а), на вершине ребра возникают напряжения растяжения, достигающие большого значения вследствие малой ширины и малого сечения ребра. Особенно опасны тонкие ребра, сужающиеся к вершине (рис.6.9,б,в); разрушение детали всегда начинается с разрыва вершины ребра [орлов]. Для усиления ребер конструктор вводит утолщение ребер (рис.6.9,г,д) у вершин, что недопустимо при литье под давлением.

Для оценки влияния ребер рассмотрим их параметрические характеристики (рис 6.10). $\eta = h/h_0$ – отношение высоты ребра h к высоте h_0 исходного профиля; $\delta = b/b_0$ – отношение ширины ребра b к ширине b_0 исходного профиля. Для сечения с рядом параллельных ребер (рис.6.10,в) величина b_0 представляет собой шаг ребер ($b_0 = t$). Относительный шаг $t_0 = b_0/b = 1/\delta$.

Введение ребер во всех случаях увеличивает момент инерции сечения и, следовательно, жесткость детали на изгиб и тем резче, чем выше ребра и больше их относительная толщина.

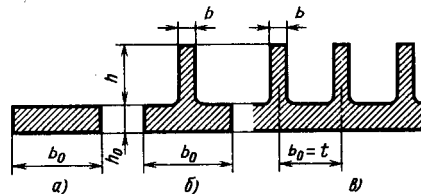


Рис.6.10. К определению параметров ребер.

Иная картина для моментов сопротивления. Введение ребер, сечение которых мало по сравнению с сечением оребренной детали (малые значения η , большой шаг t_0) уменьшает момент сопротивления, т.е. ослабляет деталь. Момент сопротивления в неблагоприятных случаях ($\eta = 2$, $t_0 = 100$) уменьшается в три раза по сравнению с исходным профилем.

Как это ни кажется парадоксальным, удаление таких ребер упрочняет деталь. Добиться увеличения прочности можно увеличением высоты ребер. Ребра с относительной высотой $\eta > 7$ не уменьшают прочности детали вплоть до самых больших значений относительного шага, какие могут встретиться на практике ($t_0 = 100$).

Однако у литых деталей высота ребер ограничивается технологией литья (тонкие протяженные стенки трудно заполняются). В конструкторской документации, исходя из условий литья, ограничивают толщину ребер; обычно ее рекомендуют делать не более $(0,6-0,8) h_0$.

При литье под давлением толщину ребер можно делать равной толщине стенки, при этом заполняемость ребер только улучшится, а отрыва ребер (или трещин) не следует опасаться, так как при ускоренном охлаждении произойдет формирование прочной оболочки, которая будет препятствовать разрушению ребер.

Внутренние напряжения.

Внутренние напряжения возникают в стенках отливки, усадка которых тормозится сопротивлением элементов формы или действием смежных стенок. Усадочные раковины и пористость появляются в частях отливки, застывающих в последнюю очередь,— в утолщениях и массивах, теплоотвод от которых затруднен (горячие узлы).

Повышенные внутренние напряжения вызывают коробление отливки и могут привести к образованию трещин.

Со временем внутренние напряжения перераспределяются и частично рассеиваются в результате медленно протекающих диффузионных процессов (естественное старение). Через длительный промежуток времени (2-3 года) деталь меняет первоначальную форму, что недопустимо для точных приборов.

Усадочные напряжения возникают лишь на тех стадиях остывания, на которых металл теряет пластичность. При более высоких температурах изменение размеров компенсируется пластическим течением металла; здесь усадка проявляется лишь утонением стенок.

В коробчатой отливке длиной L и шириной l (рис. 6.11,а) внутренняя перегородка (на рисунке зачернена) остывает медленнее, чем горизонтальные стенки. Пусть в рассматриваемый момент перегородка имеет температуру t_1 , соответствующую температуре перехода металла из пластичного состояния в упругое, а стенки — более низкую температуру t_2 , при которой металл уже находится в упругом состоянии.

При дальнейшем остывании ниже температуры t_1 материал перегородки твердеет и, сокращаясь, подвергается растяжению. Так как сокращение происходит в двух направлениях (по осям x и y), то в перегородке к концу остывания возникают двухосные напряжения растяжения, а в стенках — реактивные напряжения сжатия.

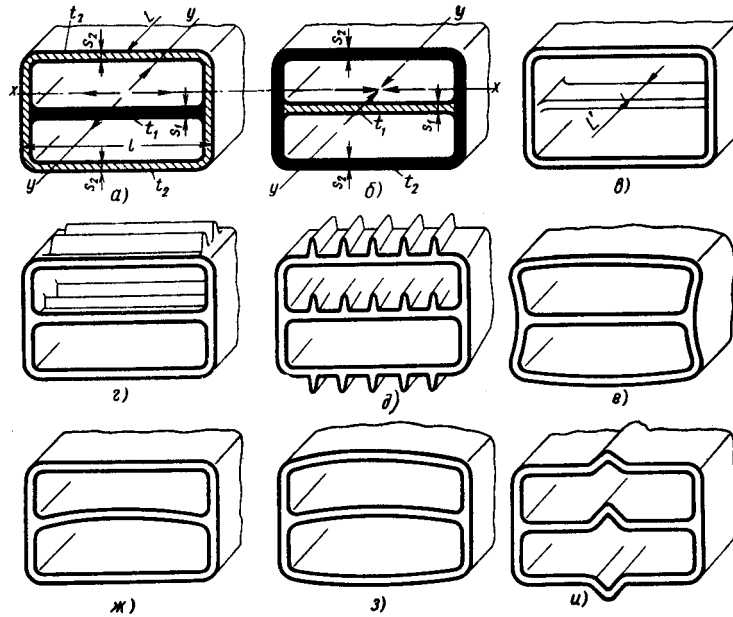


Рис. 6.11. Возникновение усадочных напряжений.

Если, наоборот, температура перегородки в исходный момент была ниже температуры стенок (вид б), то к концу остывания в перегородке возникают двухосные напряжения сжатия, а в стенках – растяжения.

Как правило, участки отливки, остывающие раньше, подвергаются сжатию, а участки, остывающие позднее, –растяжению.

Определим усадочные напряжения для случая, когда перегородка остывает позднее (см. рис.6.11, а). Ограничимся рассмотрением деформаций по оси x .

К концу остывания перегородка должна была бы укоротиться на величину $\lambda_1 = \alpha l(t_1 - t_0)$, стенки – на меньшую величину $\lambda_2 = \alpha l(t_2 - t_0)$, где l – длина стенок по оси x ; α – коэффициент линейного расширения; t_0 – конечная температура остывания. Разность $\Delta\lambda = \lambda_1 - \lambda_2 = \alpha l(t_1 - t_2)$ определяет напряжения в отливке. Согласно закону Гука

$$\Delta\lambda = \alpha l(t_1 - t_2) = \frac{Pl}{EF_1} + \frac{Pl}{EF_2},$$

где P – сила, возникающая в системе; E –

среднее значение модуля нормальной упругости материала в интервале температур $t_1 - t_0$, F_1 и F_2 – площади сечений соответственно перегородки и стенок, нормальных к оси x ($F_1 = s_1L$; $F_2 = 2s_2L$).

$$\text{Сила } P = \frac{E\alpha(t_1 - t_2)}{\frac{1}{F_1} + \frac{1}{F_2}}.$$

$$\text{Напряжение растяжения в перегородке } \sigma_1 = \frac{P}{F_1} = \frac{E\alpha(t_1 - t_2)}{1 + \frac{F_1}{F_2}}.$$

Напряжение сжатия в стенках $\sigma_2 = \frac{P}{F_2} = \frac{E\alpha(t_1 - t_2)}{1 + \frac{F_2}{F_1}}$.

Отношение напряжений $\frac{\sigma_1}{\sigma_2} = \frac{F_2}{F_1}$.

Как видно из этих выражений, напряжения прямо пропорциональны произведению $E\alpha$, разности температур $t_1 - t_2$, зависят от соотношения площадей сечений F_1/F_2 перегородки и стенок, но не зависят от их длины l .

Для уменьшения напряжений в перегородке целесообразно увеличивать ее толщину и уменьшать толщину горизонтальных стенок. Опасен случай тонких и узких ($L' < L$) внутренних связей (вид в), в которых развиваются высокие напряжения растяжения (если они остывают позже стенок) или сжатия (если они остывают раньше).

Напряжения можно регулировать также ребрами. Следует иметь в виду, что поперечные ребра (вид г) влияют на усадочные напряжения только по оси x , а продольные ребра (вид д) — только по оси y .

Под действием напряжений стенки отливок деформируются, как показано на виде е (случай перегородки, застывающей позже). Напряжения можно значительно снизить, если придать отливке податливость в направлении усадки. Например, для уменьшения усадочных напряжений по оси x целесообразно делать криволинейными перегородку (вид ж) или перегородку и горизонтальные стенки (вид з) или вводить усадочные буфера (вид и). Для уменьшения усадочных напряжений одновременно по осям x и y следует придавать перегородке и стенкам двояко-сводчатую форму.

Первопричиной усадочных напряжений является различие температур стенок. При $t_1 = t_2$ напряжения равны нулю. На этом основан способ одновременного затвердевания. Считается, что обеспечивая равномерное остывание отливки, при котором температура стенок в каждый данный момент одинакова, можно получить отливку, свободную от усадочных напряжений. Следует заметить, что в реальной даже простой конфигурации отливке, обеспечить одновременное затвердевание не удается.

Толщина стенки. Толщина стенки отливки определяется совокупностью конструктивных и технологических *факторов*. К главным конструктивным факторам относятся масса отливки, жесткость конструкции и требования по прочности и герметичности. Основными технологическими факторами являются возможность заполнения и подпрессовки отливки, выталкивания горячей отливки из пресс-формы и применения высокопроизводительного оборудования.

Рассмотрим, как реализуются основные принципы конструирования отливок – одновременное затвердевание и направленное затвердевание – при определении толщины стенки отливки при литье под давлением с учетом характера заполнения исследованного в предыдущей главе.

Известно, что направленное затвердевание обеспечивается направленным фронтом температуры отливки (перепад температур по длине отливки) и направленным увеличением толщины стенки детали. При

заполнении формы сплошным потоком (рис.6.12,а,б,в,г) возможны два основных режима заполнения, зависящих от скорости впуска металла.

В первом случае (рис.6.12,а,б) заполнение формы начинается от удаленной части отливки при перепаде температур от t_1 до t_2 (t_1 больше t_2) и создаются условия направленного затвердевания даже для равностенной отливки. К моменту окончания заполнения останется «жидкий клин», который будет подвергаться действию давления подпрессовки, компенсирующему усадку при затвердевании.

Во втором случае (вид в и г) заполнение начинается от питателя (случай ламинарного заполнения толстостенной отливки), в удаленную часть отливки придет уже охлажденный сплав и создается перепад температур, как и в первом случае. Однако жидкий клин будет расположен по-другому. Это может создать отрицательное направленное затвердевание, а значит, приведет к образованию усадочной пористости. Чтобы избежать этого крайне нежелательного явления необходимо уменьшить толщину стенки отливки в ее удаленной части до минимума (вид д).

При заполнении дисперсным потоком (рис.6.12,е) из-за очень малой длительности заполнения температура отливки по ее длине не изменяется, затвердевание будет происходить от стенки к центру и по тепловой оси сформируется «нитка» **усадочной** пористости.

В литературе [белоп] инженерная монография «Литье под давлением» считается, что «при литье под давлением направленность затвердевания отливки затрудняется высокими скоростями кристаллизации, поэтому следует создавать отливки, в которых металл затвердевал бы одновременно по всем сечениям. Этим условиям удовлетворяют только равностенные конструкции с минимально возможной толщиной стенки, позволяющие избавиться от концентрации усадочных и газовых раковин».

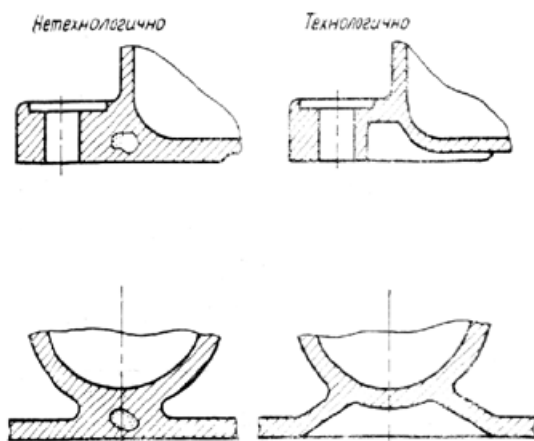


Рис. 6.13. Устранение усадочно-газовых раковин созданием равностенных конструкций.

С этим выводом никак нельзя согласиться. Приведенные выше результаты анализа исследования процесса заполнения и затвердевания отливки, заполнение сложных корпусных деталей методом доз, выполненные автором на заводе Строительных отделочных машин, показывают, что при сочетании режимов сплошного заполнения, надлежащим расположением литниковой системы и конструкции отливки с толщиной стенки приблизительно 4 мм сердцевина стенки будет затвердевать направленно, от

дальней части к питателю. При заполнении дисперсным потоком из-за короткого промежутка времени заполнения будет осуществляться одновременное затвердевание независимо от толщины стенки отливки. В местах равномерной стенки, образуется усадочная пористость по геометрической оси стенки, а в тепловых узлах образуется усадочная раковина как это показано на рис.6.13. Если тепловой узел не будет вскрываться при

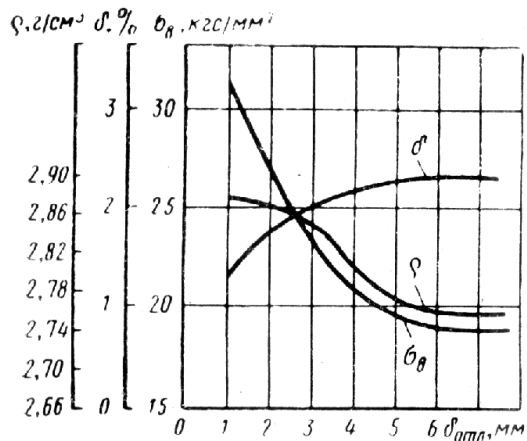


Рис. 41. Зависимость плотности и механических свойств алюминиевых отливок от толщины стенки

механической обработке, то конструктор не должен этого бояться. Переделывать конструкцию как это показано на рис. 6.13 не требуется, разве, что для уменьшения массы детали. При литье под давлением определяется минимальная толщина стенки не из-за потери прочности, а из условия заполняемости полости формы. Направленность затвердевания таких конструкций обеспечивается не толщиной стенки, а надлежащим расположением литниковой системы и каналов водяного охлаждения. Подпрессовка предполагает

обязательное направленное затвердевание, создаваемое конструкцией детали и тепловым фронтом формы.

Значения минимально допустимой толщины стенки для различных сплавов в зависимости от площади внешней поверхности отливки приведены в табл. 19.

Таблица 19. Минимально допустимая толщина стенки отливки, мм.

Сплавы	Внешняя поверхность отливки, см ²				
	До 25	25-100	100-250	250-500	Св. 500
Цинковые	0,5	0,8	1,0	1,5	2,0
Алюминиевые	0,8	1,2	1,5	2,5	3,0
Магниевые	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0
Медные	2,0	2,5	3,0	3,5	-
Стальные	2,0	3,0	5,0	-	-

На современных машинах, развивающих скорость прессования до 5-8 м/с, можно получать еще более тонкостенные отливки.

В зависимости от толщины стенки изменяется плотность отливок и их механические свойства. С увеличением толщины стенки алюминиевых деталей

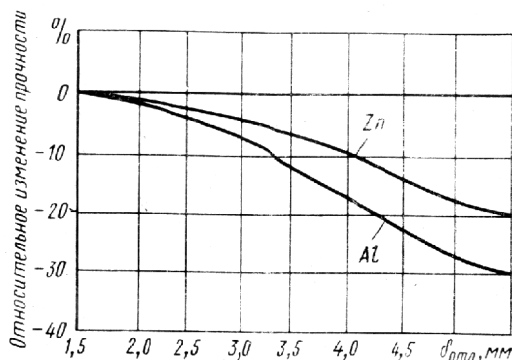


Рис. 42. Относительное изменение прочности при увеличении толщины стенки отливок из цинковых и алюминиевых сплавов

(рис.6.14), отлитых под давлением из сплава АЛ4, плотность и предел прочности уменьшаются, а относительное удлинение увеличивается [45]. Увеличение прочностных свойств с уменьшением толщина стенки объясняется возрастанием роли гидродинамического уплотнения в тонкостенных отливках. Оптимальное сочетание механических свойств наблюдается при толщине стенки 2,5-3 мм ($\sigma_B=25$ кгс/мм² и $\delta=2\%$).

Прочность отливок из цинковых сплавов при увеличении толщины стенки снижается не так значительно, как отливок из алюминиевых сплавов. На рис.6.15 приведена зависимость относительной прочности отливки (в процентах по отношению к прочности отливок толщиной 1,5 мм) от увеличения толщины ее стенки [46]. Если для алюминиевых отливок при увеличении толщины стенки от 1,5 до 5 мм прочность падает на 30%, то для отливок из цинкового сплава, при той же толщине стенки, прочность снижается лишь на 20%.

Конструкция отливки и толщина ее стенки зависят для каждого сплава от соотношения пределов прочности при сжатии и растяжении. По данным М. Шенберга, предел прочности при сжатии для магниевых сплавов в 1,5-2 раза превышает предел прочности при растяжении [96]. Это обстоятельство необходимо учитывать при выборе конфигурации элементов отливки и выборе толщины ее стенки.

Создание современных машин, развивающих в момент кристаллизации отливки высокие давления за короткий промежуток времени, позволяет использовать литье под давлением для тонкостенных отливок и для отливок с толщиной стенки 8-12 мм. Этому способствует разработка новых способов заполнения медленным сплошным потоком с последующей эффективной подпрессовкой через утолщенные питатели. Сочетание оптимальных тепловых условий затвердевания с подпрессовкой дает возможность получить литьем под давлением толстостенные отливки из эвтектических сплавов и из сплавов с широким интервалом кристаллизации: эвтектических силуминов (17-19% Si), термоупрочняемых сплавов системы Al-Si-Cu, магниевых сплавов, бронз и латуней.

Переходы и радиусы закругления. Если отливка имеет резкие переходы от толстых сечений к тонким, то в местах сочленения разностенных сечений могут возникать горячие трещины. Чтобы этого не происходило, необходимо предусматривать плавные переходы и радиусы закруглений между элементами литых деталей с разными сечениями.

Конфигурация перехода зависит главным образом от соотношения толщины сопрягаемых элементов. При незначительной разнице в толщине $\left(\frac{\delta_1}{\delta_2} \leq 2\right)$ переходы рекомендуется осуществлять по радиусу R

(рис.6.16,*a*), величина которого составляет $R = \left(\frac{1}{4} \div \frac{1}{5}\right)(\delta_1 + \delta_2)$, но не должна быть менее 0,8-1 мм.

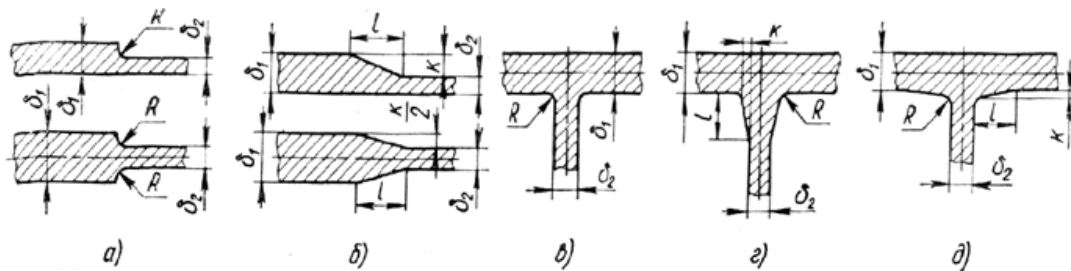


Рис. 44. Переходы от толстых сечений к тонким

Если $\left(\frac{\delta_1}{\delta_2} > 2\right)$, то следует применять так называемые клиновые сопряжения (рис. 6.16, б), в которых $l \geq 4k$. Так как $k = \delta_1 - \delta_2$, то $l \geq 4(\delta_1 - \delta_2)$.

При перпендикулярном соединении стенок и отношении $\frac{\delta_1}{\delta_2} \leq 1,75$

(рис. 6.16, в) возможно сопряжение по радиусу $R = \frac{\delta_1 + \delta_2}{4}$.

При отношении $\frac{\delta_1}{\delta_2} > 1,75$ рекомендуется клиновое сопряжение, которое в зависимости от конструктивных требований выполняется с утолщением на тонкой (рис. 6.16, г) или на толстой стенке (рис. 6.16, д). При клиновом сопряжении перпендикулярных стенок $k = 3\sqrt{\delta_1 - \delta_2}$ или $k \approx \frac{\delta_1 + \delta_2}{2}$, а величина $l \geq 4k$. Радиус внутренних закруглений должен быть не менее 0,8-1 мм, но не превышать толщину сопрягаемых стенок.

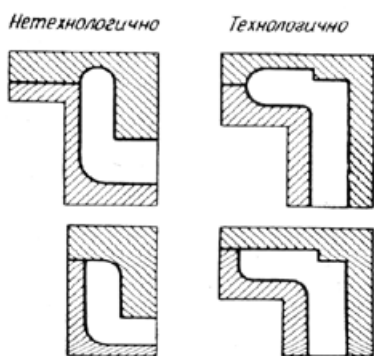


Рис. 45.

Принцип скругления переходов и углов не относится к поверхностям, которые пересекают плоскость разреза, где все грани должны оставаться прямоугольными и острыми (рис 6.17). Эти грани могут быть скруглены на готовой отливке после удаления облоя. Если же острые грани при нормальном расположении плоскости разреза недопустимы, то необходим более сложный разъем пресс-формы.

Величина внутреннего радиуса закругления зависит от вида сплава. Для цинковых сплавов радиус может быть меньше, чем для алюминиевых сплавов. Особенно чувствительны к величине радиуса закругления магниевые сплавы, при кристаллизации которых в углах отливок наблюдается концентрация напряжений, вызывающих горячие и холодные трещины. Холодные трещины возникают чаще всего в отливках, работающих при циклических нагрузках. Для таких отливок радиусы закруглений должны быть не менее половины толщины стенки [96].

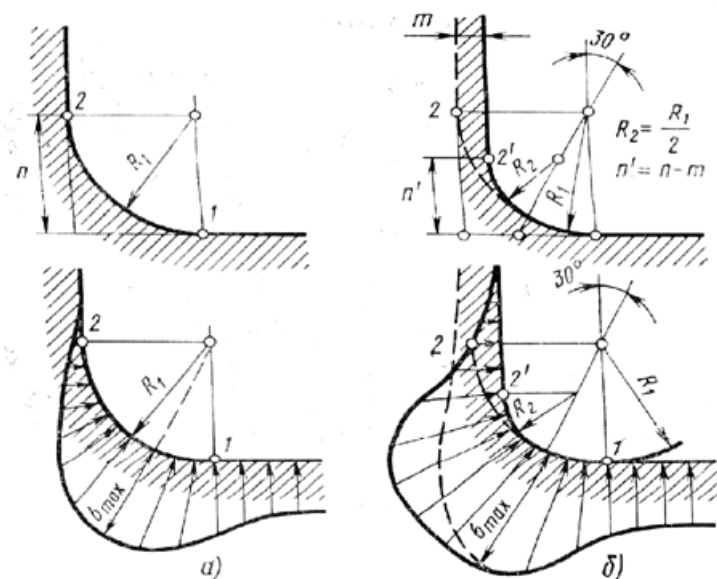


Рис. 46. Схема распределения напряжений при закруглении:
 а — по одному радиусу; б — из двух радиусов

Если увеличение радиуса нежелательно, то предусматривают разгрузочный переход с радиусами R_1 и $R_2 = \frac{R}{2}$ (рис. 6.17), в котором максимальное напряжение σ_{\max} не превышает напряжений, возникающих при закруглении большим радиусом.

Отверстия и окна.

Отверстия и окна в отливках, получаемых литьем под давлением, выполняют тремя

способами: полностью литьем, частично литьем с последующей механической обработкой и полностью механической обработкой. Выбор способа зависит от конструкции отливки, конструкции пресс-формы, технологических возможностей процесса и масштаба производства. Для тонкостенных отливок небольших серий отверстия диаметром до 3 мм можно выполнять сверлением; в этом случае нет опасности отклонения режущего инструмента и вскрытия пор или раковин в литье. В крупносерийном и массовом производстве выгоднее получать литые отверстия. В толстостенных отливках из цинковых сплавов отверстия диаметром до 1 мм, из алюминиевых и магниевых сплавов до 1,5 мм и из медных сплавов до 3 мм следует выполнять сверлением, ибо тонкие стержни быстро выходят из строя, а замена их в пресс-форме требует длительного времени. Остальные отверстия рекомендуется выполнять сразу литьем, за исключением тех случаев, когда несколько отверстий близко расположены друг к другу и суммарная величина усилия охвата металлом стержней чрезмерно велика или когда расстояние между отверстиями должно быть настолько точным, что колебания усадки металла и температурного расширения пресс-формы не обеспечивают требуемых допусков.

Таблица 20. Размеры литых отверстий в деталях, изготовленных литьем под давлением [7, 128].*

Сплавы	Наименьший диаметр отверстий d в мм.		Наибольшая глубина отверстия 1		Наружная резьба		Внутренняя резьба		Конусность отверстия в % от длины*
	практически получаемый	Возможный	Глухие отверстия	Сквозные отверстия	Наименьший диаметр в мм	Наименьший шаг в мм	Наименьший диаметр в мм	наименьший шаг в мм	
Свинцовые	1	0,75	4d (6d)	При $d > 1,5$ мм $l < 10d$	5	0,8	10	1	0,2-0,5
Оловянные	1	0,5		При $d < 1,5$ мм $l < 7d$					
Цинковые	1,5	1,0	4d (6d)	При $d > 5$ мм $l < 8d$ При $d < 5$ мм $l < 6d$	8 (6)	1	10	1 (0,75)	0,2-0,5
Алюминиевые	2,5	1,5 (2,0)		При $d > 5$ мм $l < 4d$	При $d > 5$ мм $l < 7d$	10 (12)	1,25	25 (20)	2(1,0)
Магние- вые	2	1,5 (2,0)	При $d < 5$ мм $l < 3d$ (5d)	При $d < 5$ мм $l < 5d$	10 (6)	1,25	25 (15)	2(1,0)	0,3-0,6
Медные	5	2,5 (3,0)	При $d > 5$ мм $l < 3d$	При $d > 5$ мм $l < 6d$	12	1,5	-	-(1,5)	0,8-1,5
			При $d < 5$ мм $l < 2d$	При $d < 5$ мм $l < 4d$					

Таблица 21. Допустимые диаметры литых отверстий.

Сплавы	Минимальный диаметр, мм		Максимальная глубина, выраженная в диаметрах для отверстий		Конусность отверстий, % от длины
	Практически рекомендуемый	Технологически возможный	глухих	сквозных	
Цинковые	1,5	1,0	6	12	0,2-0,5
Алюминиевые	2,5	1,5	3	6	0,5-1,0
Магниевые	2,0	2,0	5	10	0,3-0,5
Медные	3,0	2,5	3	4	0,8-1,5

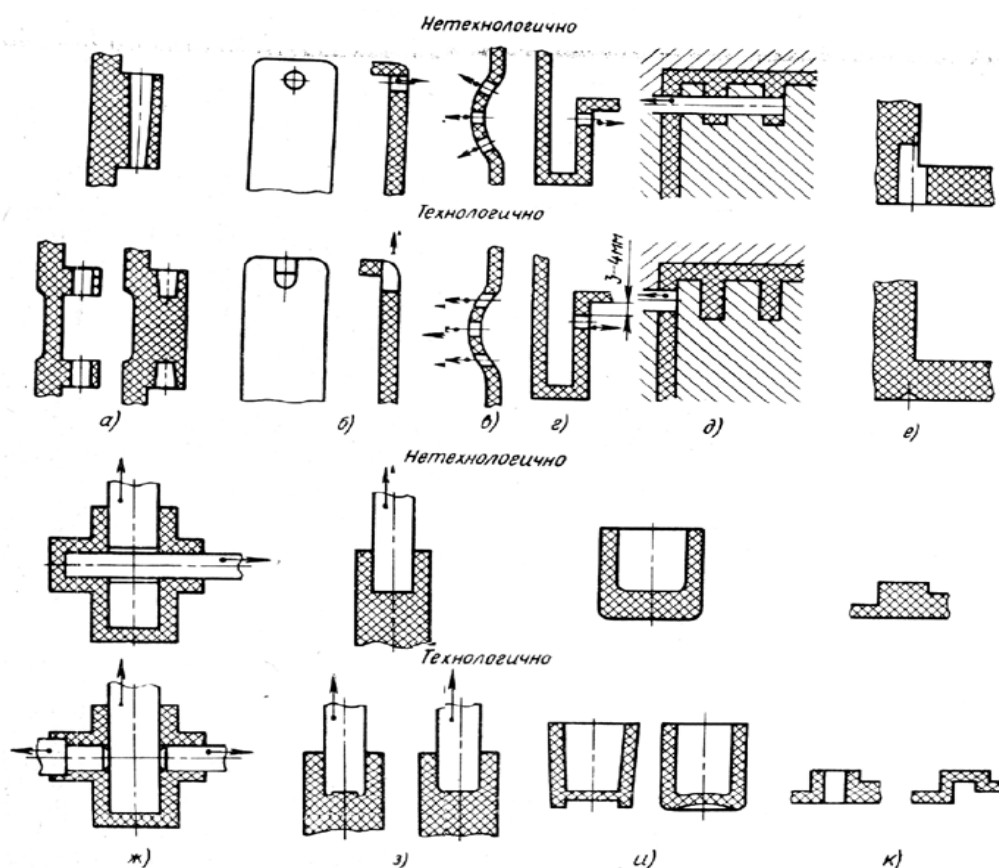


Рис. 47. Конструирование литых отверстий

При конструировании отверстий (табл. 20) следует учитывать нерентабельность применения длинных тонких стержней (рис.6.18,а). Отверстия в боковой стенке (рис. 6.18,б), для оформления которых необходимы подвижные стержни, часто могут быть выполнены без стержней. Несколько боковых отверстий лучше располагать параллельно друг другу (рис.6.18,в), чтобы использовать для движения стержней один клиновой или гидравлический механизм. Боковая стенка с отверстием (рис.6.18,г) должна отстоять от другой стенки минимум на 3—4 мм. Следует избегать расположения отверстий (и стержней) в подвижной и неподвижной полуформах (рис.6.18,д); в этом случае

лучше предусмотреть возможность последующей механической обработки. Если литое отверстие трудновыполнимо, то оно может быть обозначено центром под сверло (рис.6.18,е). Нельзя допускать пересечения отверстий, требующих пересечения стержней в пресс-форме (рис.6.18,жс). При оформлении больших глухих отверстий дно (или конец стержня) не должно иметь острых кромок (рис.6.18,з). Толщина дна глухих отверстий должна быть минимальной, чтобы исключить действие чрезмерной усадки металла на стержень (рис.6.18,и). Иногда с целью устранения локальных утолщений рекомендуется делать технологические отверстия или окна (рис.6.18,к).

Отверстия и окна в отливках по возможности должны быть сквозными. Это позволяет оформлять их с двух сторон, что исключает искривление стержней под воздействием высокого давления запрессовки, и следовательно, исключает смещение центров отверстий.

Литейные уклоны и конусность. При кристаллизации металла возникают усадочные напряжения, препятствующие удалению отливки из пресс-формы. Для облегчения удаления отливки на поверхностях, перпендикулярных плоскости разреза, на стержнях любого направления предусматривают литейные уклоны. Особенно важны литейные уклоны на внутренних поверхностях, оформляемых стержнями.

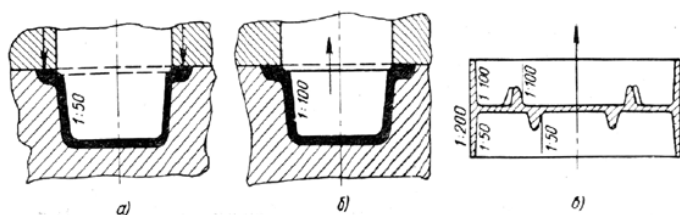


Рис. 52. Зависимость литейных уклонов от конструкции пресс-формы и отливки

Литейный уклон поверхностей, расположенных перпендикулярно плоскости разреза или в направлении удаления стержня, зависит от размеров внутренних

поверхностей и расстояния между их противоположными стенками и от того, каким образом извлекается отливка из пресс-формы. Для внутренних поверхностей, образуемых неподвижными стержнями, при изготовлении отливок, извлекаемых при помощи выталкивателей, необходим уклон большей величины (рис.6.19,а), чем при использовании подвижных стержней (рис.6.19, б). Для отливок, имеющих горизонтальные перегородки (рис.6.19,в), напряжения усадки не должны превышать прочности отливки в горячем состоянии. Для тех частей отливки, которые располагаются в неподвижной полуформе, рекомендуется уклон больший, чем для частей, оформляемых в подвижной полуформе, в противном случае отливка при удалении будет повреждена или останется в неподвижной полуформе, так как усилие обжатия стержня в неподвижной полуформе будет больше.

Таблица 22. Минимальные уклоны поверхностей отливок при литье под давлением.

Сплавы	Поверхности				Сплавы	Поверхности			
	Посадочные		Прочие			Посадочные		Прочие	
	Наружные	Внутренние	Наружные	Внутренние		Наружные	Внутренние	Наружные	Внутренние
Алюминиевые	15'	25'	30'	1°	Цинковые	15'	35'	15'	30'
Магниевые	15'	35'	30'	1°	Медные	30'	1°	45'	1°30'

Величина литейных уклонов или конусности зависит от вида сплава, высоты и толщины стенок отливки. *Лучше всего, если уклоны внутренних и наружных поверхностей отливок будут располагаться в пределах допуска на размер отливки, но они не должны быть меньше минимально допускаемых уклонов, указанных в табл.2 2.*

3. Определение и нанесение размеров

Все размеры детали делятся на две группы: свободные и функциональные. Функциональные размеры выбирают из конструктивных условий компоновки конструкции и в отдельных случаях проверяются расчетом на прочность, жесткость и функциональную точность детали.

Остальные размеры наносятся в зависимости от выбранных конструктором литейных баз и баз механической обработки.

3.1 Литейные базы. Базы механической обработки.

Литейной (черновой) технологической базой называют поверхность или ось, по которой производят базирование детали при выполнении первой операции механической обработки.

Поверхностная черновая база представляет собой необрабатываемую поверхность достаточной протяженности, параллельную или перпендикулярную к базе механической обработки – поверхности, обрабатываемой при первой механической операции. Конфигурация черновой базы должна обеспечивать удобное и устойчивое крепление детали при механической обработке; закрепление по базе не должно вызывать коробления литой заготовки.

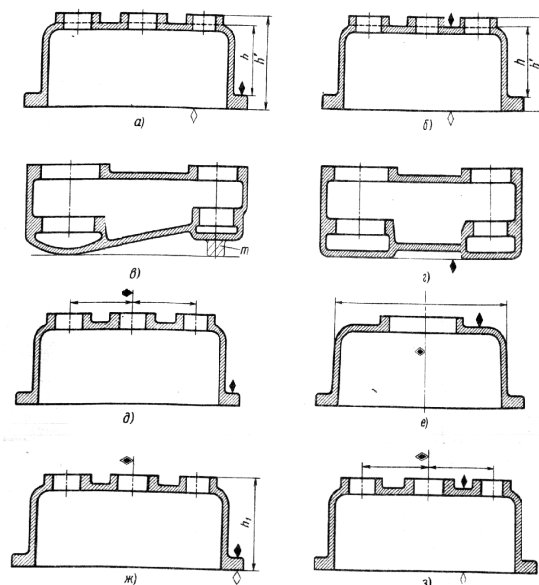


Рис.6.23 Черновые базы и базы механической обработки.

Для черновой базы нельзя использовать поверхность, подвергаемую механической обработке.

В детали, изображенной на рис.6.23,а, черновой базой могут служить или отмеченная зачерненным ромбиком поверхность фланца, или верхняя плоскость детали (вид б).

Технологическая база механической обработки показана светлым ромбиком.

Разъясним понятие технологической базы для механической обработки. Технологическая база это поверхность, которой деталь ориентируется в приспособлении при ее механической обработке. В данном случае поверхность, обозначенная светлым ромбиком, это технологическая база для второй обработки. В первой операции механической обработки в соответствии с правилом первоочередности обработки одной из двух связанных поверхностей, в первую очередь должна обрабатываться менее точная, а технологической базой должна служить связанная с нею размером (принцип совмещения баз) черновая литейная база.

От черновой базы координируют все остальные литейные поверхности (размеры h), от базы механической обработки – все остальные механически обрабатываемые поверхности (размеры h'). Базу механической обработки выполняют с минимальным припуском, что обеспечивает равномерное распределение припусков по остальным поверхностям механической обработки.

Иногда черновые базы приходится создавать искусственно, вводя технологические приливы (m , вид в) или изменяя соответствующим образом конфигурацию детали (вид г).

В общем случае литейных баз должно быть три – по одной для каждой из осей пространственной системы координат.

Осевыми базами являются оси отверстий бобышек. Осевая база определяет литейные размеры в плоскости, перпендикулярной к оси, а поверхностная база — вдоль оси (вид д)..

Тела вращения имеют только две базы — осевую, совпадающую с осью тела вращения, и высотную, определяющую размеры вдоль с си (вид *e*). При наличии осевых баз литейные базы и базы механической обработки совмещаются; общей базой служит ось отверстия, избранного в качестве базового (на видах *e-3* отмечена двойным ромбиком).

3.2 Колебания размеров отливки и их влияние на конструкцию

Колебания размеров отливки имеют особое значение на участках сопряжения черных стенок с поверхностями, подвергающимися механической обработке. Точность механической обработки во много раз выше точности литейных размеров. Литую деталь можно схематически рассматривать как жесткий остов из поверхностей механической обработки, окруженный «плавающей» оболочкой необработанных поверхностей.

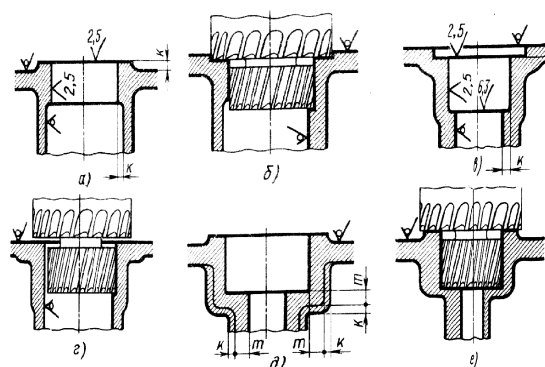


Рис.6.24. Сопряжение черновых и обработанных поверхностей.

Обозначим величину возможных смещений черных поверхностей через *k*.

При конструировании отливок необходимо соблюдать следующие правила:

1) выступающие обрабатываемые поверхности должны быть расположены выше черных поверхностей на величину *k* (рис.6.24,*a*), предупреждающую врезание инструмента в соседние необработанные поверхности (вид б);

2) углубленные обрабатываемые поверхности следует располагать ниже черных поверхностей на величину *k* (вид в), предупреждающую недоход инструмента (вид г) и образование черновин;

3) толщина стенок, прилегающих к обрабатываемым поверхностям (вид д), должна быть больше конструктивно необходимой толщины *m* на величину *k*. Иначе при смещении литых поверхностей может наступить недопустимое утонение стенки (вид е).

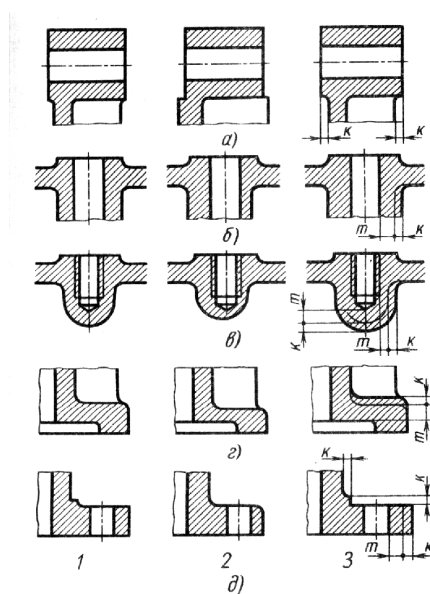


Рис.6.25. Сопряжения черновых и обработанных поверхностей контура стыка.

На рис.6.25 приведены примеры применения указанных правил для ступиц (виды а), бобышек (виды б, в) и фланцев (виды г, д).

Стыковые плоскости следует соединять с ближайшими черными стенками поверхностями, перпендикулярными к плоскости обработки, высотой не менее k), иначе возможно искажение

Величина k зависит от точности литья, габаритов отливки, расстояния данного элемента до базы литейных размеров и базы размеров механической обработки и определяется в общем случае расчетом размерных цепей. Практическое конструирование нуждается в более простом методе определения величины k .

Для нахождения k можно воспользоваться припусками на механическую обработку), поскольку последние определяются теми же параметрами, что и k (наибольший габаритный размер отливки, расстояние от литейных баз, класс точности литья). Во избежание подсчета при литье под давлением величину k рекомендуется принимать равной 0,5 мм. Это объясняется тем, что при любом способе заполнения в отливке будет плотная оболочка толщиной около 1 мм и чтобы ее не срезать глубина резания не должна быть больше 0,5 мм. Значения k можно непосредственно использовать для определения удаления обрабатываемых поверхностей от черных.

Толщину стенок бобышек проще определять из соотношения $S = as$, где s – средняя толщина стенок отливки; a – коэффициент, равный для литья под давлением 1,5. Это соотношение практически гарантируют от чрезмерного уменьшения толщины стенок.

4. Нанесение размеров

Нанесение размеров на чертежах литых деталей должно отражать расположение литейных баз и баз механической обработки, а также учитывать отклонения размеров.

Основные правила нанесения размеров литых деталей следующие:

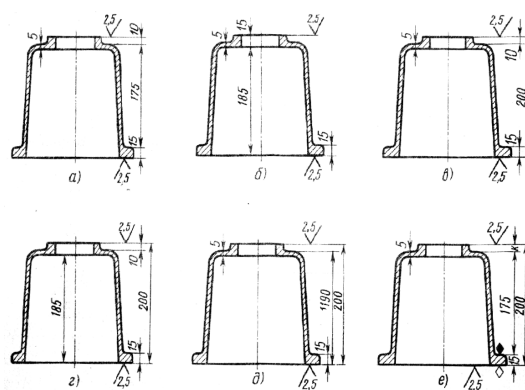
1) необрабатываемые поверхности следует привязывать к литейной черновой базе непосредственно или с помощью других размеров;

2) вторую базу механической обработки следует закоординировать относительно черновой литейной базы;

3) все остальные размеры механически обрабатываемых поверхностей – закоординировать относительно второй базы механической обработки непосредственно или с помощью других размеров.

Привязывать литейные размеры к размерам механически обрабатываемых поверхностей и наоборот недопустимо, за исключением случая, когда литейная база и база механической обработки совпадают (осевые базы).

Приведенные правила необходимо соблюдать для всех трех



координатных осей отливки.

Рис.6.26. Простановка размеров на литой детали.

На рис.6.26 приведены варианты нанесения размеров литой детали. Нанесение размеров по виду *a* неверно. Расстояние между обрабатываемыми плоскостями, привязанными к черным поверхностям суммой размеров 15, 175 и 10 мм, в данном случае колеблется в широких пределах вместе с колебаниями размеров черных поверхностей. Например, если при первой операции механической обработки обрабатывать нижнюю плоскость с шероховатостью 2,5, то при обработке верхней плоскости только что обработанная плоскость должна служить технологической базой. В этом случае точность размера 10 выдержать невозможно из-за большой погрешности базирования, равной сумме допусков на размеры 15 и 175.

Такая же ошибка допущена в конструкции *б*, где расстояние между обрабатываемыми поверхностями задано суммой размеров 185 и 15 мм.

При нанесении размеров по виду *в* расстояние между обрабатываемыми плоскостями (200 мм) выдерживается в необходимых узких пределах (в пределах допуска на механическую обработку, который меньше чем допуск на любой литой размер). Ошибка заключается в том, что черные поверхности привязаны к смежным обрабатываемым плоскостям (размеры 15 и 10 мм). Выдержать такую координацию практически невозможно опять же из-за погрешности базирования; которая при обработке верхней плоскости в размер 10 равна сумме допусков на размеры 15 и 200., что значительно больше допуска на размер 10.

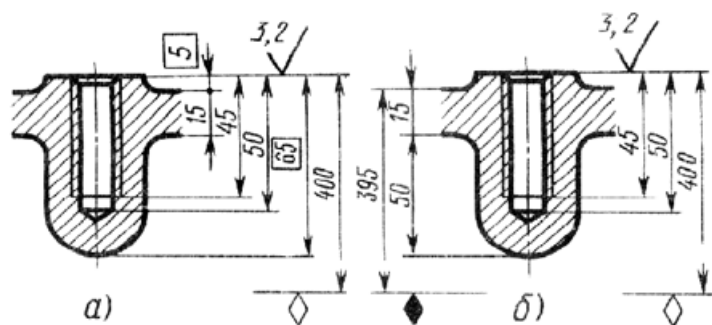


Рис.6.28. Правильное и неправильное нанесение размеров на бобышках.

5. Точность размеров отливок

Точность размеров деталей, изготавливаемых литьем под давлением, необходимо рассматривать в двух аспектах: во-первых, с точки зрения требований, гарантирующих нормальную работу механизмов пресс-формы и, во-вторых, с точки зрения технологических возможностей достижения минимальных колебаний размеров отливок. Точность размеров реальной отливки оценивается соответствием их номинальным размерам, указанным на чертеже.

Наибольший экономический эффект при изготовлении отливок достигается в тех случаях, когда отливка после удаления из пресс-формы почти не подвергается механической обработке. Вместе с тем решение вопроса о необходимости механической обработки возможно только на основе знания точности, которую можно получить в процессе литья под давлением. Количественным критерием точности должна служить наибольшая величина отклонений действительных размеров отливки от значений размеров, заданных конструктором.

В научно-технической литературе по литью под давлением вопросам точности размеров отливок уделено значительное внимание. Однако литературные данные довольно противоречивы из-за различия методик построения системы допусков. Это приводит к тому, что рекомендуемые в работах [33, 38] допуски на один и тот же размер отливки имеют значительные расхождения, в связи с чем во многих случаях при назначении допусков приходится учитывать производственный опыт.

В тех случаях, когда какой либо размер отливки с требуемой точностью невозможно получить литьем под давлением или экономически неоправданно из-за удорожания стоимости пресс-формы, назначают припуск на механическую обработку, который колеблется от 0,3 до 0,8 мм. В особых случаях допускается припуск на механическую обработку до 1,2 мм. Иногда, чтобы получить отливку требуемой точности без механической обработки, увеличивают затраты на изготовление пресс-формы. Деталь пресс-формы, оформляющую этот размер, делают в виде быстросменной вставки, что позволяет после испытания пресс-формы и измерения пробных отливок заменить ее или довести размер.

Факторы, влияющие на точность размеров отливок. При литье под давлением к факторам, вызывающим погрешности размеров отливок относят следующие: точность изготовления оформляющей полости пресс-формы; износ поверхностей пресс-формы; колебания усадки сплава; точность перемещения и

сопряжения подвижных частей пресс-формы; деформация отливки при ее извлечении из формы.

Конструктор должен помнить, что точность изготовления оформляющей полости зависит от конфигурации отливки. Например, элементы формы образованные плоскостями, цилиндрическими и коническими поверхностями могут быть выполнены по пятому качеству точности. Размеры, координирующие более сложные геометрические поверхности второго порядка могут быть выполнены по шестому качеству с применением ручного труда. Очевидно, что это удорожает форму и снижает точность отливки.

Износ поверхности оформляющей полости формы происходит в результате царапания поверхности формы движущимся сплавом, термодинамическим ударом по поверхности при охлаждении отливки, химического взаимодействия сплава и материала формы. Износ выражается в образовании на поверхности формы трещин и сетки разгара. Дефект исправляется зачисткой формы на 0,05-0,1 мм. После нескольких зачисток форму приходится списывать. Здесь также износ формы зависит от конфигурации отливки. Меньше изнашиваются конические внутренние поверхности, любые поверхности с большим уклоном, стержни изнашиваются быстрее, чем полости. Наибольший износ происходит под действием алюминиевых и медных сплавов, наименьший – магниевых.

Колебания усадки сплава зависят от совокупности таких факторов, как стабильность технологического процесса, типа сплава, толщины стенок отливки, места подвода питателей, Конструкция детали определяет два вида усадки: затрудненную – для внутренних полостей и отверстий детали и свободную – для наружных поверхностей детали.

Все названные факторы являются случайными, приводят к рассеиванию размеров отливки и влияние их на точность очень трудно учитывать.

Для практических целей конструктору можно рекомендовать средние величины расчетных коэффициентов усадки (таб.23), разбив все отливки на две группы: с толщиной стенки до 3 мм и свыше 3 мм.

Таблица 23. Расчетные коэффициенты усадки.

Сплавы	Толщина стенки отливки, мм			
	До 3		Свыше 3	
	Затрудненная	Свободная	Затрудненная	Свободная
Цинковые	0,4	0,5	0,5	0,6
Алюминевые	0,5	0,6	0,6	0,7
Магниевые	0,6	0,7	0,7	0,8
Латунь	0,6	0,7	0,7	0,9

Точность перемещения и сопряжения подвижных частей пресс-формы влияет на точность отливок, которые из-за сложности конфигурации располагаются в обеих полуформах. Наибольшую точность размеров можно получить, если они оформляются одной частью формы и не зависят от плоскости разъема.

Деформация отливки при извлечении из пресс-формы зависит от конфигурации самой детали (отливки) и во многом определяется правильно выбранными уклонами и конусностью. В тонкостенных отливках конструктор должен предусматривать утолщения, на которые будут давить толкатели.

Классификация размеров отливок, изготавливаемых литьем под давлением основана на расположении отливок в форме. По этому признаку все размеры отливок можно разбить на три группы размеров, оформляемых: 1) в одной части формы, 2) в подвижной и неподвижной полуформах, 3) подвижными деталями формы. Кроме того по общим конструктивным признакам все названные размеры делятся на четыре группы: 1) охватываемые, 2) охватывающие, 3) открытые, 4) радиусы, фаски и расстояния между осями (рис.6.29)

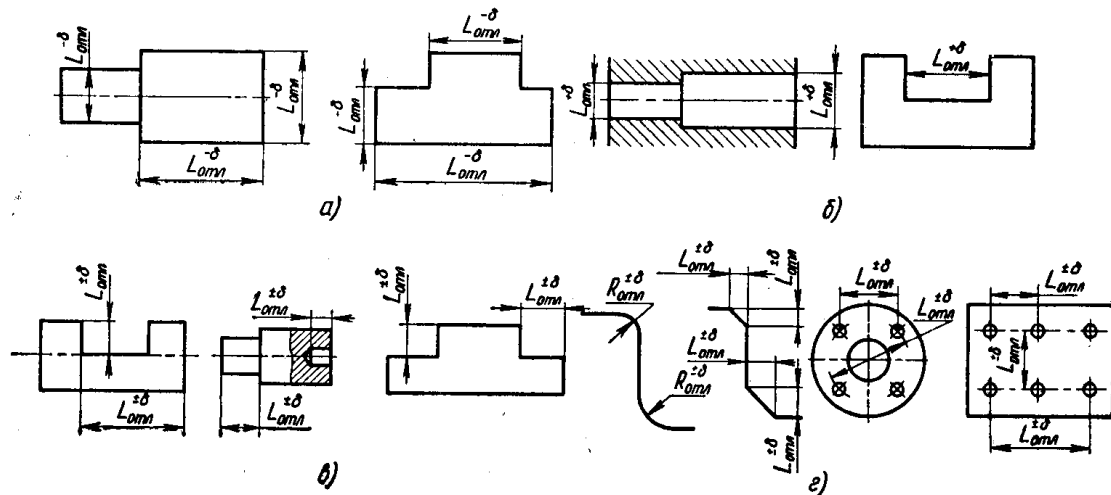


Рис.6.29. Классификация размеров отливок.

Для литья под давлением очень важно не уменьшать без необходимости допуски на размеры (особенно на свободные размеры), так малые допуски повышают стоимость изготовления и сокращают срок службы формы.

Для практической работы в помощь конструктору с учетом влияния рассмотренных выше факторов приводятся дополнительные данные о допускаемых отклонениях в зависимости от конфигурации детали и положения ее различных элементов в форме, которые сведены в таблицу (см.табл.24) применительно к размерам формы, изображенной на рис.6.30.

Таблица 24. Предельные допускаемые отклонения на размеры отливок из сплавов алюминиевых, магниевых и цинковых, изготовленных способом литья под давлением (рис.6.30) [128, 129].

Характеристика размеров и их обозначения	Отклонения в мм
Расстояние осей отверстий, заливаемых перпендикулярно к плоскости разъема формы, от базы измерения Размеры <i>a</i> и <i>б</i>	$\pm 0,05$ для размеров до 40 мм. Прибавляются $\pm 0,025$ для каждой последующих 25 мм или их частей. Если стержни размещены в двух различных половинках формы, добавить $\pm 0,07$.
Расстояние осей отверстий, заливаемых параллельно к плоскости разъема формы, от базы измерения Размеры <i>к</i> и <i>л</i>	$\pm 0,07$ для размера <i>к</i> , если стержень <i>б</i> находится в части Б формы; $\pm 0,15$ для размера <i>л</i> , если стержень <i>Г</i> находится в части А формы

Концентричное положение отверстий Размеры v, z, d, e	0,025 между v и e для стержня в сквозном отверстии (как E). 0,10 между z, d, e и v , когда стержень E находится в стержне D. Допуск применяется для отверстий диаметром больше 10 мм, длина которых превышает 1,5 диаметра. 0,025 между $e, ж$ и z , если отверстия сделаны в той же части формы.
Размеры отверстий и углублений	Для алюминиевых и магниевых сплавов $\pm 0,04$ для размеров $v, z, d, e, ж, z$, не превышающих 20 мм. Добавить $\pm 0,04$ для каждых последующих 25 мм или их частей. Для цинковых сплавов $\pm 0,02$ для размеров $v, z, d, e, ж, z$, не превышающих 10 мм. Добавить $\pm 0,025$ для каждых последующих 25 мм или их частей
Размеры ступиц, приливов	$\pm 0,05$ для $m < 32$ мм, если обе торцовые поверхности находятся в одной части формы. Добавить $\pm 0,025$ для каждых последующих 25 мм или их частей. $\pm 0,15$ для $n < 32$ мм. Если обе торцовые поверхности находятся в различных частях формы. Добавить $\pm 0,02$ для каждых последующих 25 мм или их частей. $\pm 0,15$ для $u = 50$ мм, если торцовая поверхность образована подвижным стержнем В. Добавить $\pm 0,04$ для каждых последующих 25 мм. или их частей.
Толщина стенок	$\pm 0,07$ для вертикальных стенок (размер o). $\pm 0,10$ для горизонтальных стенок (размер $п$)

Отверстия и щели. В формах для литья под давлением можно заливать отверстия относительно небольшого диаметра (порядка 1-3 мм). Данные, касающиеся минимальных диаметров литых отверстий, а также длины слепых и сквозных отверстий, были приведены в табл. 15. По мере возможности отверстия следует применять недлинные, большого диаметра и расставлять их на небольшом расстоянии одно от другого.

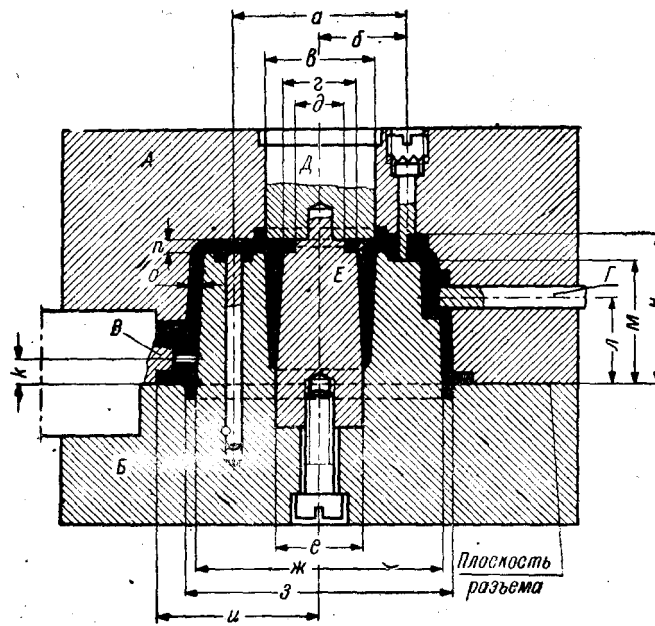


Рис.6.30. Обозначения размеров формы для литья под давлением (допускаемые отклонения на размеры даны в табл.24).